

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Šíření rádiového signálu přes překážky**  
**Radio Signal Propagation through Obstacles**

**2016**

**Miloslav Malovaník**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Miloslav Malovaník**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Šíření rádiového signálu přes překážky**  
**Radio Signal Propagation through Obstacles**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je proměření vlivu různých druhů překážek na šíření rádiového signálu a vytvoření tabulky referenčních hodnot útlumů rádiových signálů pro různé druhy překážek.

1. Popis šíření rádiových signálů UHF uvnitř budov.
2. Návrh způsobu měření útlumu signálu, jenž vzniká průchodem rádiového signálu přes překážky.
3. Vytvoření tabulky referenčních hodnot útlumu rádiových signálů pro různé druhy překážek.
4. Vyhodnocení naměřených dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

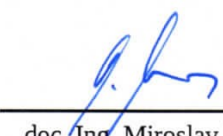
[1] Pechač P.: Šíření vln v zástavbě, BEN, 2005, ISBN: 80-7300-186-1

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 28. apríla 2016

  
.....  
podpis študenta

## **Pod'akovanie**

Rád by som pod'akoval pánu Ing. Romanovi Šebestovi, Ph.D. za odbornú pomoc a konzultáciu pri vytváraní tejto bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel pod'akovať rodičom za podporu pri mojom štúdiu.

## **Abstrakt**

Cieľom tejto práce je zmerať hodnoty útlmu rôznych typov prekážok v UHF pásme. Pre meranie budú použité tri základné typy prekážok, ktoré sa najčastejšie nachádzajú vo vnútri budov. Konkrétne sa jedná o drevené dvere, stenu a sklenenú výplň. Z nameraných hodnôt sa vytvorí tabuľka referenčných hodnôt útlmu rádiových signálov pre dané prekážky. Potom sa namerané hodnoty útlmov porovnajú s hodnotami dostupnými z iných zdrojov.

## **Kľúčové slová**

útlm, pásmo UHF, rádiový signál, šírenie rádiového signálu, Wi-Fi, LTE, GSM, UMTS

## **Abstract**

The main purpose of this work is measurement of attenuation on different types of obstacles. For measurement will be used the three types of obstacles, that are mostly used in interiors of buildings. Specially the wooden doors, wall and glass filling. From measured values will be created a table of reference attenuations of radio signals for the measured obstacles. Then the measured attenuation values will be compared to the values available from other sources.

## **Key words**

attenuation, UHF band, radio signal, propagation of radio signal, Wi-Fi, LTE, GSM, UMTS

## Obsah

Zoznam použitých symbolov .....	- 9 -
Zoznam použitých skratiek .....	- 10 -
Zoznam ilustrácií a zoznam tabuliek.....	- 11 -
Úvod.....	- 13 -
1   Rádiový signál.....	- 14 -
1.1   Vlnová dĺžka .....	- 14 -
1.2   Elektromagnetická vlna.....	- 15 -
1.3   Rozdelenie rádiových vĺn.....	- 15 -
1.4   Klasifikácia ultra krátkych vĺn .....	- 16 -
1.5   Polarizácia elektromagnetickej vlny .....	- 17 -
1.6   Delenie antén podľa polarizácie.....	- 17 -
1.7   Delenie antén podľa vyžarovacej charakteristiky .....	- 18 -
1.8   Vyžarovací diagram antény.....	- 19 -
1.9   Vyžarovacie uhly antény.....	- 21 -
1.10   Útlm signálu.....	- 21 -
1.11   Fresnelová zóna.....	- 22 -
1.12   Výkonová úroveň signálu .....	- 23 -
1.13   Jednotka decibel - dB .....	- 24 -
1.14   Oblasti poľa.....	- 25 -
1.15   Odstup signálu od šumu .....	- 27 -
2   Šírenie rádiového signálu v pásme UHF vo vnútri budov .....	- 28 -
2.1   Faktory ovplyvňujúce šírenie rádiového signálu .....	- 28 -
2.2   Klasifikácia bunkového systému.....	- 29 -
2.3   Šírenie vĺn v jednotlivých typoch buniek.....	- 29 -
2.4   Šírenie rádiových signálov vo vnútri budov .....	- 29 -
2.5   Vplyv materiálu prekážok na šírenie signálov .....	- 30 -
3   Telekomunikačné služby pre pásmo UHF .....	- 31 -
3.1   GSM.....	- 31 -
3.2   UTMS .....	- 32 -
3.3   Wi-Fi.....	- 33 -

3.4	LTE .....	- 33 -
4	Návrh metodiky merania útlmu prekážok .....	- 34 -
4.1	Uvedenie do problematiky merania .....	- 34 -
4.2	Metódy pre meranie útlmu signálu cez prekážky.....	- 34 -
4.3	Návrh metodiky merania.....	- 35 -
4.4	Použité zariadenia a komponenty.....	- 39 -
4.4.1	Signálový generátor Rohde & Schwarz SMB 100 A .....	- 39 -
4.4.2	Spektrálny analyzátor Rohde & Schwarz FSH8.....	- 40 -
4.4.3	Smerová anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10 .....	- 41 -
5	Realizácia merania .....	- 43 -
5.1	Realizácia samotného merania.....	- 43 -
5.1.1	Meranie referenčných hodnôt bez prekážky.....	- 44 -
5.1.2	Meranie útlmu dverí .....	- 44 -
5.1.3	Meranie útlmu sklenenej výplne .....	- 45 -
5.1.4	Meranie útlmu steny .....	- 45 -
5.2	Namerané výsledky .....	- 46 -
5.2.1	Útlm spôsobený dverami.....	- 48 -
5.2.2	Útlm spôsobený sklenenou výplňou.....	- 48 -
5.2.3	Útlm spôsobený stenou .....	- 48 -
5.3	Zhodnotenie nameraných výsledkov.....	- 48 -
5.3.1	Zrovnávanie výsledkov s dostupnými zdrojmi .....	- 50 -
	Záver .....	- 55 -
	Použitá literatúra .....	- 56 -
	Zoznam príloh .....	- 60 -



## Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>A</b>	dB	útlm signálu
<b>D</b>	m	najväčší rozmer antény
<b>G</b>	dB	zisk
$L_c(p, t)$	dB	celkové straty šírením
<b>P</b>	W	výkon signálu
$R_{reak\_bliz}$	m	polomer oblasti reaktívneho blízkeho poľa
$R_{vyz\_bliz}$	m	polomer oblasti vyžarujúceho blízkeho poľa
$R_{vzd}$	m	polomer oblasti vzdialeného poľa
<b>SNR</b>	dB	odstup signálu od šumu
<b>c</b>	m/s	rýchlosť svetla
<b>d</b>	m	vzdialenosť antén
$d_1, d_2$	m	vzdialenosť prekážky od prijímacej(vysielacej) antény
$d_p$	m	hrúbka prekážky
$d_{ref}$	m	minimálna vzdialenosť antény od prekážky
<b>f</b>	Hz	Frekvencia
$\lambda$	m	vlnová dĺžka
<b>n</b>	-	rád Fresnelovej zóny
$r_n$	m	polomer Fresnelovej zóny
<b>t</b>	s	čas

## Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
<b>AP</b>	Prístupový bod (Access Point)
<b>AuC</b>	Autentizačné centrum (Authentication Centre)
<b>BSC</b>	Radič základňových staníc (Base Station Controller)
<b>BSS</b>	Podsystem základňových staníc (Base Station Subsystem)
<b>BTS</b>	Základňová stanica (Base Transceiver Station)
<b>EIR</b>	Register mobilných staníc (Equipment Identity Register)
<b>GSM</b>	Globálny systém mobilnej komunikácie (Global System for Mobile Communication)
<b>GSMC</b>	Bránová spínacia ústredňa (Gateway Mobile Switching Centre)
<b>HLR</b>	Domovský lokalizačný register (Home Location Register)
<b>IMEI</b>	Medzinárodná identita mobilného zariadenia (International Mobile Equipment Identity)
<b>LTE</b>	Dlhodobá evolúcia (Long Term Evolution)
<b>MS</b>	Mobilná stanica (Mobile Station)
<b>MSC</b>	Mobilná spínacia ústredňa (Mobile Switching services Centre)
<b>NSS</b>	Sieťový spojovací podsystem (Network Switching Subsystem)
<b>OSS</b>	Operačný a podporný podsystem (Operation and Support Subsystem)
<b>PSTN</b>	Verejná telefónna sieť (Public Switched Telephone Network)
<b>SMS</b>	Textová správa (Short Message Service)
<b>SMS-G</b>	Brána SMS (Short Message Service Gateway)
<b>SIM</b>	Modul identifikujúci odoberateľa (Subscriber Identity Module)
<b>SNR</b>	Odstup signálu od šumu (Signal to Noise Ratio)
<b>TDMA</b>	Viacnásobný prístup s časovým delením (Time Division Multiple Access)
<b>UHF</b>	Ultra krátke vlny (Ultra High Frequency)
<b>UMTS</b>	Univerzálny mobilný telekomunikačný systém (Universal Mobile Telecommunications System)
<b>VLR</b>	Návštevnícky lokalizačný register (Visitor Location Register)
<b>W-CDMA</b>	Širokopásmový viacnásobný prístup s kódovým delením (Wideband Code Multiple Access)

## Zoznam ilustrácií a zoznam tabuliek

Číslo ilustrácie	Názov ilustrácie	Číslo stránky
1.1	Vlnová dĺžka signálu $w(t)=3 \cdot \sin(3t)$	14
1.2	Zložky elektromagnetického poľa E a H	15
1.3.	Priestorová klasifikácia elektromagnetických vĺn pre pozemné spoje	16
1.4	Rozdelenie elektromagnetických vĺn pre rádiový prenos	16
1.5	Horizontálna a vertikálna polarizácia elektromagnetickej vlny	17
1.6	Príklad polarizácie Yagi antény - horizontálna, vertikálna, kruhová	18
1.7	Všesmerová anténa AIR802 ANMM2407	18
1.8	Smerová anténa AIR802 ANGR5X29	19
1.9	Sektorová anténa AIR802 ANSE2417-90	19
1.10	Vertikálny a horizontálny vyžarovací diagram všesmerovej antény	20
1.11	Vertikálny a horizontálny vyžarovací diagram smerovej antény	20
1.12	Vertikálny a horizontálny vyžarovací diagram sektorovej antény	21
1.13	Fresnelova zóna	22
1.14	Oblasti poľa v okolí antény	26
3.1	Základná architektúra siete GSM	32
4.1	Schéma premerania signálu zo signálového generátoru RF signálu	37
4.2	Fotografia merajúceho pracoviska pri meraní útlmu sklenenej výplne	37
4.3	Znázornenie polomerov $r_n$ pre 1., 2. a 3. Fresnelovu zónu	38
4.4	Spektrálny analyzátor a signálový generátor Rohde & Schwarz	41
4.5	Smerová anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10	42
5.1	Fotografie premeriavaných prekážok - dvere, sklenená výplň a stena	43
5.2	Meranie útlmu dverí v učebni POREB317	44
5.3	Graf priebehu útlmu spôsobeného drevenými dverami	49
5.4	Graf priebehu útlmu spôsobeného sklenenou výplňou	49
5.5	Graf priebehu útlmu spôsobeného stenou	50
5.6	Graf priebehov útlmov spôsobených všetkými prekážkami	50

Číslo	Názov tabuľky	Číslo stránky
<b>Tabuľky</b>		
1.1	Rozdelenie rádiových vln podľa dĺžky	15
1.2	Prevod dBm na watt a opačne	24
2.1	Znázornenie úrovni útlmu pre rôznych materiálov pre pásmo 2400 MHz	30
3.1	Tabuľka štandardov 802.11	33
4.2	Služby a odpovedajúce frekvenčné pásma, na ktorých sa vykonalo meranie	35
5.1	Namerané a vypočítané hodnoty pre útlm sklenenej výplne	47
5.2	Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného dverami	48
5.3	Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného sklenenou výplňou	48
5.4	Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného stenou	48
5.5	Priemerné hodnoty útlmu každej prekážky pre pásmo UHF	49
5.6	Hodnoty útlmov z prvého zdroja	51
5.7	Hodnoty útlmov z druhého zdroja	52
5.8	Hodnoty útlmov z tretieho zdroja	53

## Úvod

V našom živote sme každý deň obklopený modernými technológiami, bez ktorých si len ťažko vieme predstaviť fungovanie v práci, v škole, či bežnom živote. Jednou z týchto technológií je aj bezdrátový prenos informácií a Internet všeobecne. Už len Wi-Fi signál je dnes samozrejmosť takmer v každej inštitúcii a budove, kde prideme. Všetci ho chceme mať čo najlepši a prenášať dáta najvyššou rýchlosťou.

Lenže sila rádiového signálu je ovplyvnená rôznymi faktormi. Najdôležitejším je veľkosť útlmu signálu, ktorý je spôsobený vzdialenosťou medzi dvoma anténami a aj prekážkami, ktorými daný signál prejde. Niektoré ho utlmia viac, iné menej.

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo porovnať vplyv prekážok na šírenie signálu vo vnútri budov na základe materiálu, z ktorého sú vyrobené. Túto prácu som si vybral preto, lebo ma zaujímalo šírenie rádiových signálov v budovách.

Prvá časť mojej práce je teoretický popis rádiového signálu, základných typov antén a šírenia rádiového signálu vo vnútri budov.

Druhá časť je popis praktického merania. V tomto meraní som zrovnával rôzne typy prekážok a meral som ich útlm na šírenie rádiového signálu.

Vysielaný signál som vytváral generátorom SMB 100A od firmy Rohde & Schwarz, ktorý som prepojil na smerové vysielacie antény. Signál som vysielal na rôznych kmitočtoch v pásme UHF, ktoré odpovedajú kmitočtom technológií používaných v telekomunikáciách. Silu prijímaného signálu som meral spektrálnym analyzátorom FSH8 od firmy Rohde & Schwarz. Tento bol pripojený na rovnaký typ antény ako signálový generátor SMB 100A.

Na základe hodnôt nameraných útlmov som vytvoril tabuľky referenčných hodnôt útlmu pre každú premeriavanú prekážku.

# 1 Rádiový signál

Rádiový signál je druh elektromagnetického žiarenia s veľkým rozsahom veľkosti vlnovej dĺžky  $\lambda$ . Tá môže nadobúdať hodnoty od 1 mm do 100 km. Kmitočet  $f$  rádiového signálu sa pohybuje od 3 kHz do 300 GHz.

## 1.1 Vlnová dĺžka

Definuje sa ako vzdialenosť medzi dvoma vrcholmi periodického signálu. Vypočíta sa cez vzorec 1.1 [24]:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299\,792\,458}{f} \quad (1.1)$$

kde:

$\lambda$  .... vlnová dĺžka [m]

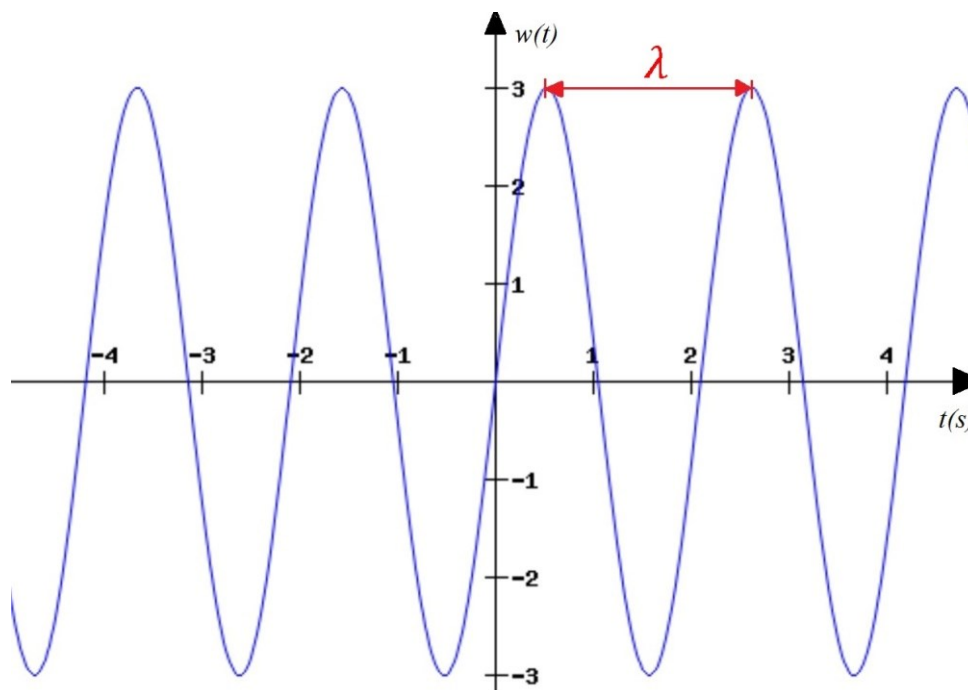
$c$  .... rýchlosť svetla [m/s]

$f$  .... frekvencia signálu [Hz]

Pomocou vzťahu 1.2 dokážeme vypočítať aj frekvenciu  $f$  z vlnovej dĺžky  $\lambda$  [24]:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{299\,792\,458}{\lambda} \quad (1.2)$$

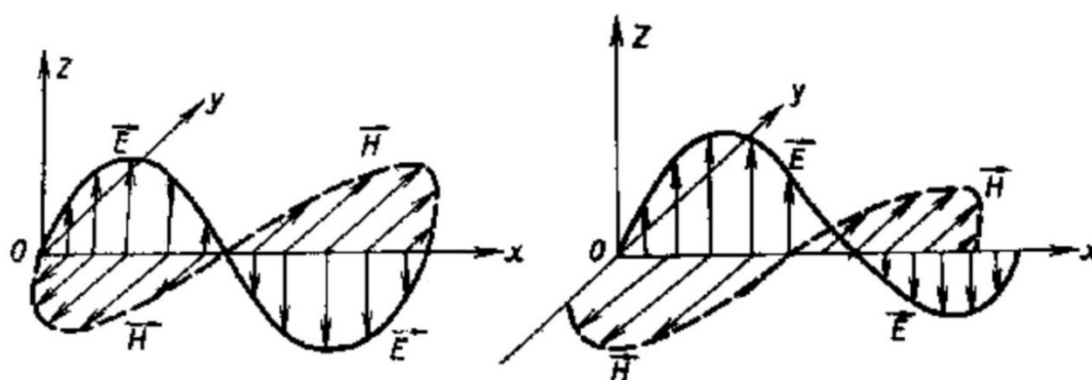
Na obrázku 1.1 je znázornená vlnová dĺžka signálu  $w(t) = 3 \cdot \sin(3t)$ .



Obrázek 1.1: Vlnová dĺžka signálu  $w(t) = 3 \cdot \sin(3t)$

## 1.2 Elektromagnetická vlna

Elektromagnetická vlna sa skladá z dvoch zložiek: elektrická zložka a magnetická zložka. Tieto zložky sú reprezentované dvoma vektormi. Elektrická zložka je reprezentovaná vektorom intenzity elektrického poľa –  $E$  a magnetická zložka je reprezentovaná vektorom intenzity magnetického poľa –  $H$ . Oba vektory ležia v rovine šírenia elektromagnetickej vlny a sú navzájom na seba kolmé a zároveň sú kolmé aj na smer šírenia danej vlny. Na obrázku 1.2 je znázornené usporiadanie zložiek v reálnom a ideálnom prostredí. Z obrázku je vidieť, že v ideálnom prostredí sú obe zložky na seba kolmé, sú kolmé aj na smer šírenia a zapadajú do seba. Ale v reálnom prostredí sú síce kolmé na seba, ale v smere šírenia je zložka  $H$  fázovo posunutá od zložky  $E$  oproti reálnemu prostrediu. V reálnom prostredí dochádza aj ku zmenšovaniu amplitúd oboch zložiek. [10]



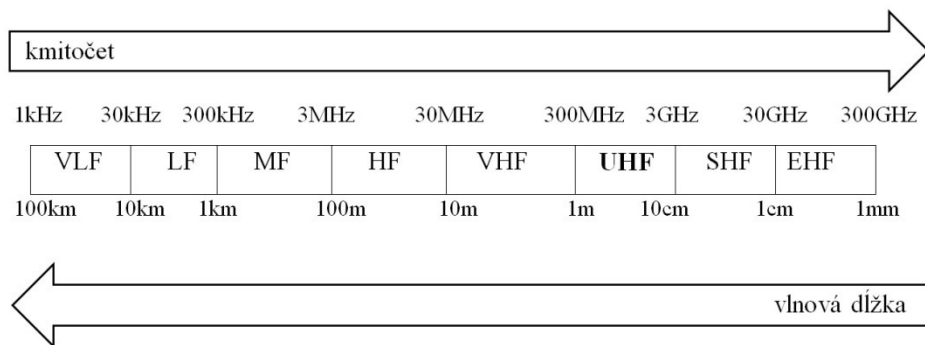
Obrázek 1.2: Zložky elektromagnetického poľa  $E$  a  $H$ : a) v ideálnom prostredí (vľavo) b) v reálnom prostredí (vpravo) [10]

## 1.3 Rozdelenie rádiových vln

V tabuľke 1.1 sa nachádza rozdelenie rádiových vln podľa dĺžky. Na obrázku 1.3 sa nachádza priestorová klasifikácia elektromagnetických vln pre pozemné spoje.

Tabuľka 1.1: Rozdelenie rádiových vln podľa dĺžky [2]

dĺžka	Skratka	frekvencia $f$	vlnová dĺžka $\lambda$
veľmi dlhé	VLF	3 kHz - 30 kHz	100 km - 10 km
dlhé	LF	30 kHz - 300 kHz	10 km - 1 km
stredné	MF	300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m
krátke	HF	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m
veľmi krátke	VHF	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m
ultra krátke	UHF	300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm
super krátke	SHF	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm
extrémne krátke	EHF	30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm



Obrázek 1.3: Priestorová klasifikácia elektromagnetických vln pre pozemné spoje [1]

Z tabuľky 1.1 a Obrázku 1.3 je vidieť, že so zvyšujúcim kmitočtom  $f$  sa znižuje vlnová dĺžka

## 1.4 Klasifikácia ultra krátkych vln

Ultra krátke UHF (Ultra High Frequency) vlny sa šíria vo frekvenčnom pásme s rozsahom frekvencie  $f$ , ktorá nadobúda hodnotu od 300 do 3000 MHz a s veľkosťou vlnovej dĺžky  $\lambda$ , ktorá nadobúda hodnotu od 10 cm do 1 m. Na obrázku 1.4 je znázornené rozdelenie elektromagnetických vln pre rádiový prenos. [1]



Obrázek 1.4: Rozdelenie elektromagnetických vln pre rádiový prenos [1]

Šírenie elektromagnetických vln je uskutočnené nasledujúcimi spôsobmi:

- 1.iónosférická vlna – odrazom od zeme a iónosféry
- 2.troposférická vlna – troposférickým rozptylom
- 3.prízemná vlna – v blízkosti zemského povrchu
  - a) prízemná priestorová vlna – v okolí nad zemským povrchom
  - b) prízemná povrchová vlna – na rozhraní zeme a vzduchu

Najdôležitejšou vlastnosťou elektromagnetickej vlny je jej vlnová dĺžka  $\lambda$ . Táto spolu s rozmermi objektov, v ktorom sa bude vlna šíriť určuje jej správanie, resp. tlmenie, ohýbanie, odrážanie a rozptyľovanie elektromagnetickej vlny.



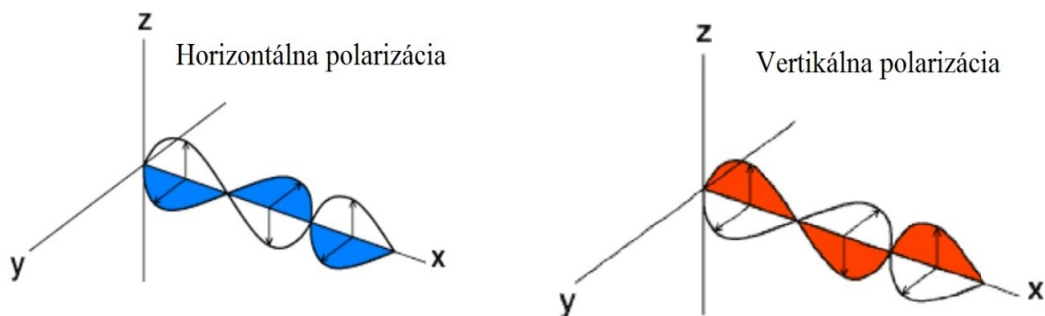
Dnešné mobilné a iné bezdrôtové komunikačné zariadenia pracujú väčšinou vo frekvenčnom pásme ultrakrátkych vln (UHF). Je tomu tak z dôvodu malých strát pri šírení vln a ich dobrému odrážaniu. Vlny v pásme UHF majú tiež dobrú schopnosť ohybu a prechodu prekážkami.

Sú dva spôsoby šírenia prízemnej priestorovej vlny. Prvý je priamy a nastáva pri priamej optickej viditeľnosti medzi vysielačou a prijímacou anténou. Útlm signálu je minimálny a závisí od frekvencie signálu, typu prostredia a vzdialenosti medzi prijímacou a vysielačou anténou. Druhý nastáva, keď stojí v ceste medzi vysielačou a prijímacou anténou prekážka, ktorá spôsobí odrazy, rozptyly a ohyby šíriacej sa vlny. V druhom spôsobe sa vlny šíria mnohocestným šírením (multipath propagation). Útlm signálu je omnoho väčší a závisí aj na vlastnostiach prekážky, cez ktorú signál prechádza (materiál, hrúbka, rozmery). [1]

## 1.5 Polarizácia elektromagnetickej vlny

Polarizácia elektromagnetickej vlny určuje orientáciu elektrickej a magnetickej zložky elektromagnetickej vlny. Máme dva druhy polarizácie elektromagnetickej vlny: horizontálna a vertikálna polarizácia. Na to, aby sme mohli určiť či sa jedná o jednu alebo o druhú polarizáciu potrebujeme poznať orientáciu vektora  $E$  vzhľadom k zemskému povrchu.

Ak je vektor intenzity elektrického poľa  $E$  zvislý vzhľadom k zemskému povrchu (je na neho kolmý) ide o vertikálnu polarizáciu. Ak je vektor intenzity elektrického poľa vodorovný vzhľadom k zemskému povrchu (je s ním rovnobežný) ide o horizontálnu polarizáciu. Na obrázku 1.5 je znázornená horizontálna a vertikálna polarizácia elektromagnetickej vlny. [9]

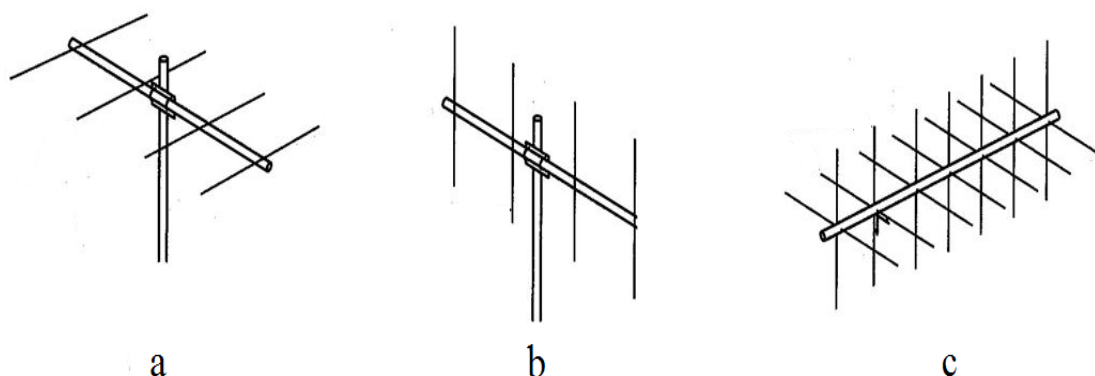


Obrázek 1.5: Horizontálna a vertikálna polarizácia elektromagnetickej vlny. Zvýraznený priebeh znázorňuje elektrické pole. [11]

## 1.6 Delenie antén podľa polarizácie

Polarizácia antény úzko súvisí s polarizáciou elektromagnetickej vlny.

Sú 3 druhy polarizácie antény: horizontálna, vertikálna a kruhová. Horizontálne polarizovaná anténa prijíma horizontálne polarizované vlny a vertikálne polarizovaná anténa prijíma vertikálne polarizované vlny. Kruhovo polarizovaná anténa môže prijímať horizontálne aj vertikálne polarizované vlny. Kruhová polarizácia nastáva vtedy, ak sú 2 dipóly na seba kolmé a vysielaajú rovnaký signál a jeden dipól ho fázovo posúva o  $90^\circ$ . Na obrázku 1.6 je znázornený príklad polarizácie antény typu Yagi. [12]



Obrázek 1.6: Príklad polarizácie Yagi antény - a) horizontálna, b) vertikálna, c) kruhová.[13]

### 1.7 Delenie antén podľa vyžarovacej charakteristiky

Podľa vyžarovacej charakteristiky sa antény delia na všesmerové, smerové a sektorové antény. Všesmerové antény môžu byť polarizované horizontálne aj vertikálne. Väčšinou majú vertikálnu polarizáciu. Je to z toho dôvodu, že zhotovenie všesmerovej antény s horizontálnou polarizáciou je nákladnejšie a ťažšie ako zhotovenie všesmerovej antény s vertikálnou polarizáciou. Väčšinou majú vyžarovací uhol  $360^\circ$ . Na obrázku 1.7 je znázornená všesmerová anténa AIR802 ANMM2407. [40]



Obrázek 1.7: Všesmerová anténa AIR802 ANMM2407 [14]

Smerové antény sa vyrábajú tak, aby vysielali a prijímali signál len v určitom smere. Vyžarovací uhol takýchto antén môže byť menší ako  $10^\circ$ . Môžu byť polarizované aj horizontálne aj vertikálne.

Na obrázku 1.8 je znázornená smerová anténa AIR802 ANGR5X29. [40]



Obrázek 1.8: Smerová anténa AIR802 ANGR5X29 [30]

Sektorové antény sa používajú pri pokrytí väčšieho úseku priestoru, pre ktoré je zbytočné použiť všesmerovú anténu. Majú vyžarovací uhol cca. 30 - 180°. Môžu byť polarizované aj horizontálne aj vertikálne. Na obrázku 1.9 je znázornená sektorová anténa AIR802 ANSE2417-90.[40]

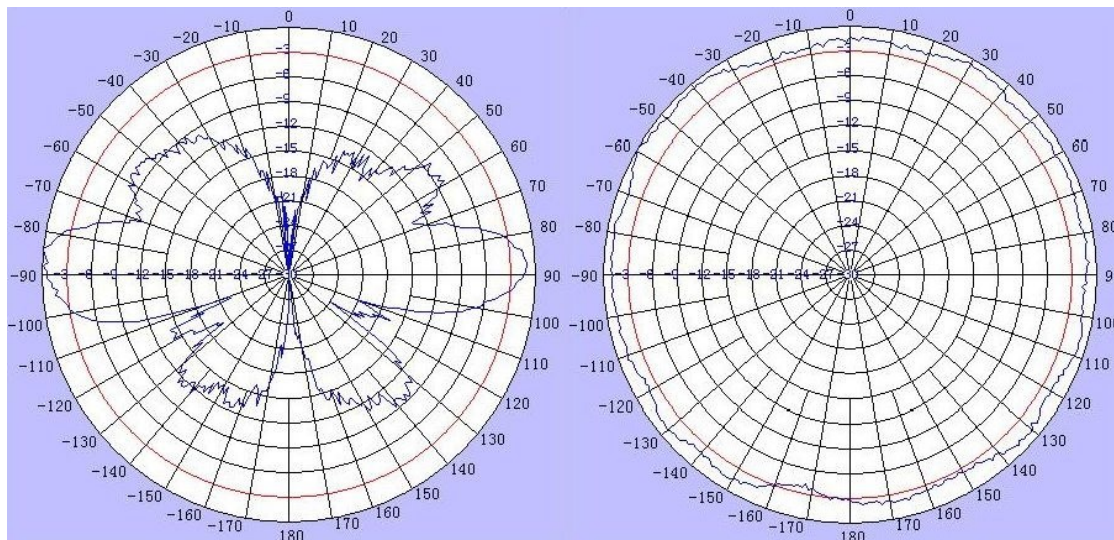


Obrázek 1.9: Sektorová anténa AIR802 ANSE2417-90 [31]

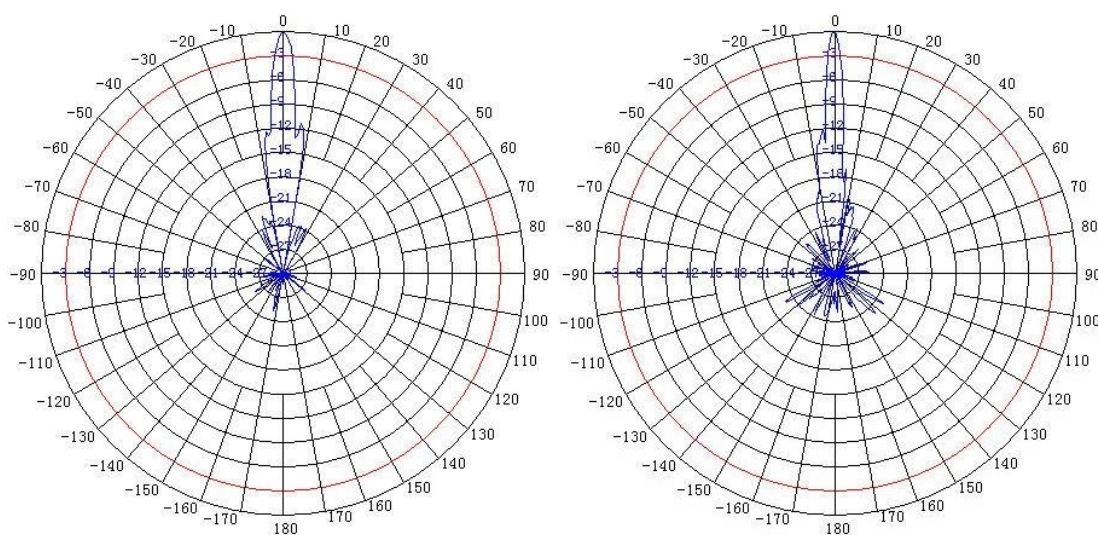
## 1.8 Vyžarovací diagram antény

Je v ňom zakreslený zisk, vyžarovacie uhly a smerovosť. Znázorňuje plnú charakteristiku šírenia signálu v horizontálnom aj vertikálnom smere. Napr. všesmerová anténa má vyžarovací diagram v kruhovom tvare. Smerová a sektorová anténa má vyžarovací diagram v tvare laloku. Z vyžarovacieho diagramu antény je možné vyčítať akým smerom sa budú šíriť vlny z antény.[17]

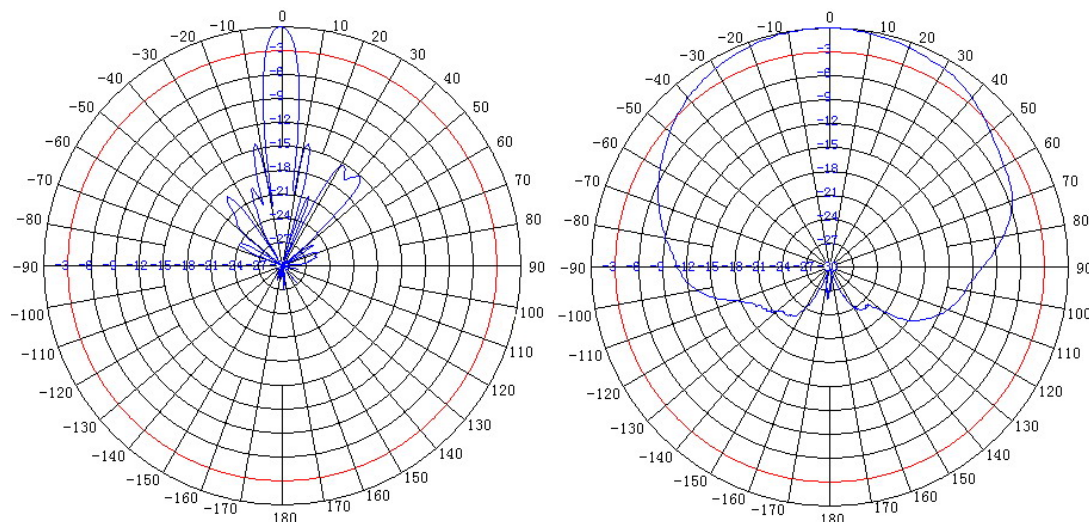
Na obrázku 1.10 je znázornený horizontálny a vertikálny vyžarovací diagram všesmerovej antény AIR802 ANMM2407. Na obrázku 1.11 je znázornený horizontálny a vertikálny vyžarovací diagram smerovej antény AIR802 ANGR5X29. Na obrázku 1.12 je znázornený horizontálny a vertikálny vyžarovací diagram sektorovej antény AIR802 ANSE2417-90.



Obrázek 1.10: Vertikálny (vľavo) a horizontálny (vpravo) vyžarovací diagram všesmerovej antény AIR802 ANMM2407 [14]



Obrázek 1.11: Vertikálny (vľavo) a horizontálny (vpravo) vyžarovací diagram smerovej antény AIR802 ANGR5X29 [30]



Obrázek 1.12: *Vertikálny (vľavo) a horizontálny (vpravo) vyžarovací diagram sektorovej antény AIR802 ANSE2417-90 [31]*

## 1.9 Vyžarovacie uhly antény

Každá anténa má horizontálny a vertikálny vyžarovací uhol. Tie popisujú, aký veľký priestor môže anténa pokryť v horizontálnom a vertikálnom smere. Sú zakreslené do vyžarovacích diagramov.

Všesmerová anténa má horizontálny vyžarovací uhol 360°. Vertikálny vyžarovací uhol je však omnoho menší, niekedy aj 12°.

Smerová anténa má horizontálny uhol omnoho menší ako všesmerová anténa. Ale vertikálny vyžarovací uhol je približne (a niekedy aj úplne) rovnaký. Niekedy môže byť vyžarovací uhol (či už horizontálny alebo vertikálny) menší ako 10°. Anténa môže mať napríklad horizontálny aj vertikálny vyžarovací uhol o veľkosti 12°.

Sektorová anténa má horizontálny vyžarovací uhol typicky od 30° do 180°. Vertikálny vyžarovací uhol je však omnoho menší, niekedy aj pod 10°. [17]

## 1.10 Útlm signálu

Útlm signálu je zníženie výkonu signálu pri jeho prenášaní. Udáva sa v decibeloch [dB] a je rovný logaritmu so základom 10 pomeru vstupnej intenzity a výstupnej intenzity signálu. Vypočíta sa pomocou vzorca 1.3. [8]

$$A = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1.3)$$

kde:

$A$  .... útlm signálu [dB]

$P_1$  .... vstupná intenzita signálu [W]

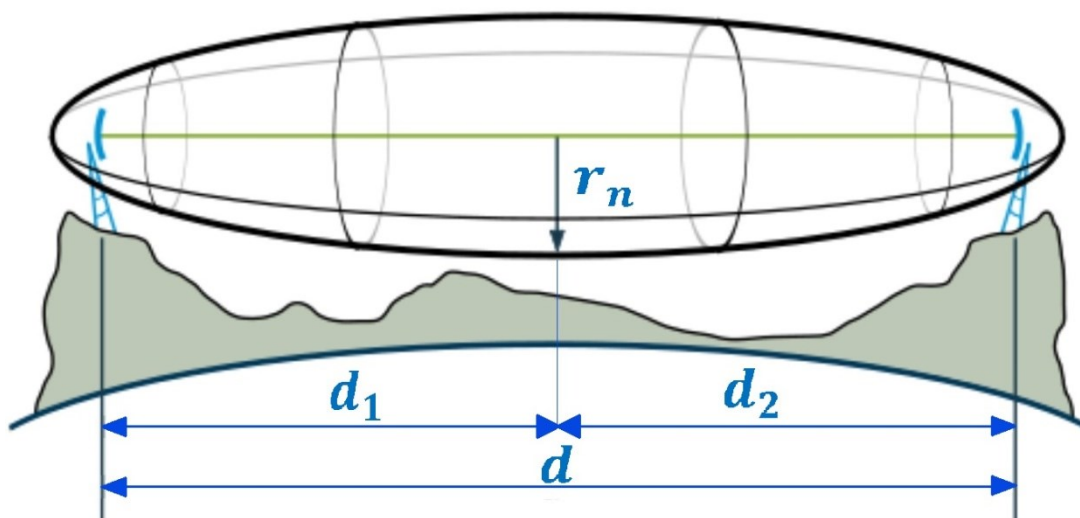
$P_2$  .... výstupná intenzita signálu [W]



Ak je  $A$  väčšie ako 0, tak dochádza k útlmu signálu. Ak je  $A$  menšie ako 0, tak dochádza k zisku signálu. V bezdrôtových prenosoch je najbežnejší útlm. Ten sa zvyšuje so zvyšovaním kmitočtu a vzdialenosti medzi anténami.[8]

### 1.11 Fresnelová zóna

Fresnelová zóna je elipsoid, v ktorom je vymedzený minimálny priestor pre šírenie elektromagnetickej energie na priamu vzdialenosť medzi dvoma anténami. Je ich viac. Má tvar dutníku. V jej strede má najväčšiu šírku. Spravidla by sa v nej nemali nachádzať prekážky. Štandardné spoje musia mať aspoň 60 % voľného priestoru z 1. Fresnelovej zóny, v ktorej sa nachádza najväčšia časť vysielaného signálu. Na obrázku 1.3 je znázornená Fresnelová zóna a jej polomer  $r_n$ . [5, 6]



Obrázek 1.13: *Fresnelova zóna* [5]

Výpočet polomeru Fresnelovej zóny  $n$ -tého rádu sa vypočíta podľa vzorca 1.4 [25]:

$$r_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (1.4)$$

kde:

$r_n$  .... polomer Fresnelovej zóny [m]

$\lambda$  .... vlnová dĺžka [m]

$n$  .... rád Fresnelovej zóny [-]

$d_1, d_2$  ... vzdialenosť prekážky od prijímacej, prípadne vysielacej antény [m]

Dohromady dáva súčet vzdialeností  $d_1$  a  $d_2$  celkovú vzdialenosť  $d$  medzi vysielacou a prijímacou anténou, ktorá je tiež v metroch (m). Platí teda vzťah 1.5.

$$d = d_1 + d_2 \quad (1.5)$$

Pri meraní cez prekážku platí pre vzdialenosť  $d$  vzťah 1.6.

$$d = d_1 + d_2 + d_p \quad (1.6)$$

kde:

$d_p$  ... hrúbka prekážky [m]

## 1.12 Výkonová úroveň signálu

Výkonová úroveň signálu udáva silu prijímaného signálu v jednotkách dBm. Táto jednotka sa vzťahuje na jeden miliwatt (0,001 W).

Výkonovú úroveň prijatého signálu vypočítame podľa vzorca 1.7 [19]:

$$P_{(dBm)} = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_{(W)}}{0,001} \right) \quad (1.7)$$

kde:

$P_{(dBm)}$  .... výkon prijímaného signálu [dBm]

$P_{(W)}$  ..... výkon prijímaného signálu [W]

Inverzný výpočet pre získanie prijatého výkonu v miliwattoch [W] z výkonovej úrovne v dBm popisuje vzorec 1.8 [19]:

$$P_{(W)} = 0,001 * 10^{\left(\frac{P_{(dBm)}}{10}\right)} \quad (1.8)$$

Platí, že ak je prijatá výkonová úroveň  $P_{(W)}$  väčšia ako jeden miliwatt (0,001 W), tak je výkonová úroveň prijatého signálu  $P_{(dBm)}$  väčšia ako 0. Ak je prijatá výkonová úroveň  $P_{(W)}$  menšia ako jeden miliwatt (0,001 W), tak je výkonová úroveň prijatého signálu  $P_{(dBm)}$  menšia ako 0. A ak je prijatá výkonová úroveň  $P_{(W)}$  rovná jednému miliwattu (0,001 W), tak je výkonová úroveň prijatého signálu  $P_{(dBm)}$  rovná 0.

V praxi nastáva väčšinou 2. prípad. Preto sú hodnoty dBm záporné. So zvyšujúcou hodnotou (bližšie k nule) sa zlepšuje aj sila prijímaného signálu. Preto má napríklad signál s -32 dBm lepšiu silu ako s -64 dBm.

V reálnom prostredí sa sila signálu pohybuje v nasledovných hodnotách. Ak sme priamo v blízkosti vysielačnej antény, tak môže byť sila prijímaného signálu aj -30 dBm. Ak sme ale príliš ďaleko, tak môže byť sila prijímaného signálu aj -100 dBm. V tomto prípade je už výkonová úroveň prijatého signálu veľmi malá a vo väčšine prípadov nepostačuje pre prevádzku.[18]

Tabulka 1.2: *Prevod dBm na wattly a opačne [20]*

Výkon v dBm – P [dBm]	Výkon vo wattoch – P [W]
-30	0,0000010
-20	0,0000100
-10	0,0001000
0	0,0010000
1	0,0012589
2	0,0015849
3	0,0019953
4	0,0025119
5	0,0031628
6	0,0039811
7	0,0050119
8	0,0063096
9	0,0079433
10	0,0100000
20	0,1000000
30	1,0000000
40	10,000000
50	100,000000

### 1.13 Jednotka decibel - dB

Jednotka decibel je bezrozmerná logaritmická jednotka. Vyjadruje pomer dvoch hodnôt. Je pomenovaná po pravdepodobnom vynálezcovi telefónu A. G. Bellovi. Pôvodne sa značila B - Bel. Ale táto bola moc veľká na to, aby našla v praxi uplatnenie. Preto sa odvodila desatina tejto jednotky - dB.

Zisk v decibeloch sa vypočíta podľa vzorca 1.9 [21]:

$$G = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (1.9)$$

kde:

$G$  ..... zisk [dB]

$P_1$  ..... referenčný výkon [W]

$P_2$  ..... prijatý výkon [W]

Ak je  $G$  väčšie ako 0, tak dochádza k zisku. Ak je  $G$  menšie ako 0, tak dochádza k útlmu signálu. V bezdrôtových prenosoch je najbežnejší útlm.

Ak poznáme referenčný výkon a zisk môžeme si prijatý výkon vypočítať cez vzorec 1.10 [21]:

$$P_2 = P_1 * 10^{\left(\frac{G}{10}\right)} \quad (1.10)$$

kde:

$P_2$  ..... prijatý výkon [W]

$P_1$  ..... referenčný výkon [W]

$G$  ..... zisk [dB]



### 1.14 Oblasti poľa

Okolie antény v smere šírenia signálu obklopujú 3 oblasti:

reaktívne blízke pole

vyžarujúce blízke pole

vzdialené pole

Reaktívne blízke pole je najbližšie ku anténe. V tejto oblasti prevládajú reaktívne polia. Magnetická zložka  $H$  a elektrická zložka  $E$  nie sú medzi sebou vo fáze  $90^\circ$ , ale aj tak sú na seba kolmé. Uhlové rozloženie poľa závisí od smeru a vzdialenosti od danej antény. [22, 23]

Hranica oblasti reaktívneho blízkeho poľa je daná vzorcom 1.11 [22]:

$$R_{reak\_bliz} < 0,62 * \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (1.11)$$

kde:

$R_{reak\_bliz}$  .... polomer oblasti reaktívneho blízkeho poľa (m)

$D$  .... najväčší rozmer antény (m)

$\lambda$  .... vlnová dĺžka (m)

Vyžarujúce blízke pole (Fresnelovo) sa nachádza medzi reaktívnym blízkeým poľom a vzdialeným poľom. V tejto oblasti prevládajú namiesto reaktívnych polí vyžarujúce polia. Uhlové rozloženie poľa závisí od vzdialenosti od danej antény.

Hranica oblasti vyžarujúceho blízkeho poľa je daná vzorcom 1.12 [22]:

$$0,62 * \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < R_{vyz\_bliz} < \frac{2 * D^2}{\lambda} \quad (1.12)$$

kde:

$R_{vyz\_bliz}$  ... polomer oblasti vyžarujúceho blízkeho poľa [m]

$D$  ..... najväčší rozmer antény [m]

$\lambda$  ..... vlnová dĺžka [m]

Vzdialené pole (Fraunhoferovo) sa nachádza najďalej od antény a má v podstate nekonečný dosah. Spomedzi všetkých troch oblastí je najväčšie. V tejto oblasti sú všetky polia vyžarujúce. Uhlové rozloženie poľa nezávisí od vzdialenosti od danej antény. [22, 23]

Hranica oblasti vzdialeného poľa je daná vzorcom 1.13 [22]:

$$R_{vzd} > \frac{2 * D^2}{\lambda} \quad (1.13)$$

kde:

$R_{vzd}$  .... polomer oblasti vzdialeného poľa [m]

$D$  ..... najväčší rozmer antény [m]

$\lambda$  ..... vlnová dĺžka [m]

Polomer oblasti vzdialeného poľa sa rovná minimálnej (referenčnej) vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$ , ktorá sa bude pri meraní počítať. Vypovedá o tom vzorec 1.14.

$$d_{ref} = R_{vzd} \quad (1.14)$$

kde:

$d_{ref}$  .... minimálna (referenčná) vzdialenosť antény od prekážky [m]

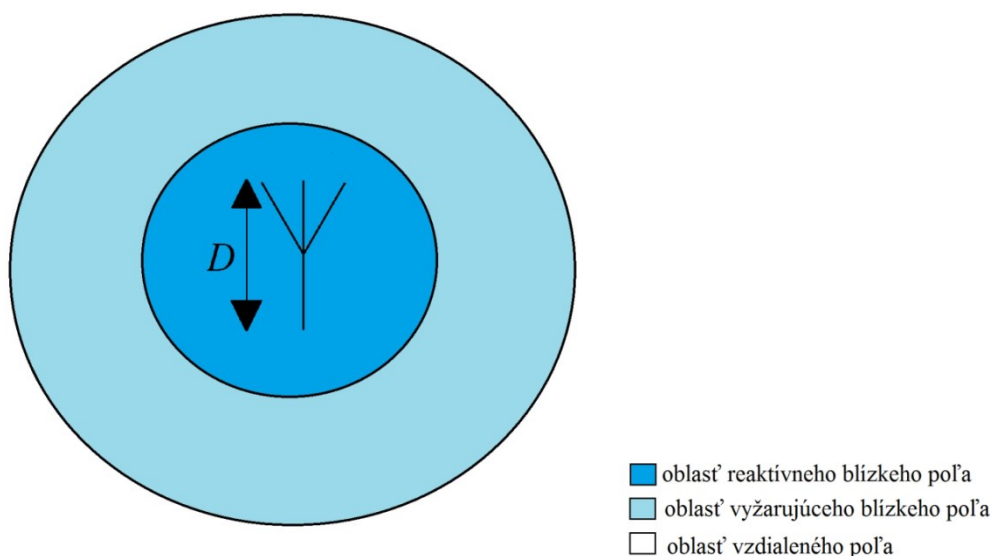
Pre platnosť minimálnej (referenčnej) vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$  musia byť splnené nasledujúce podmienky [22 , 26]:

$$d_{ref} \gg D$$

$$d_{ref} \gg \lambda$$

$$D \gg \lambda$$

Dodržanie vyššie popísaných podmienok zabezpečí, že sa bude vyžarovaný výkon šíriť z odlišných častí antény približne rovnobežne. Na obrázku 1.14 sú znázornené oblasti poľa v okolí antény.



Obrázek 1.14: *Oblasti poľa v okolí antény*

Príkladné znázornenie:

Na príklad stanovenia oblasti reaktívneho blízkeho poľa  $R_{reak\_bliz}$ , vyžarujúceho blízkeho poľa  $R_{vyz\_bliz}$  a vzdialeného poľa  $R_{vzd}$  (minimálnej vzdialenosti antény  $d_{ref}$ ) od prekážky sa použije -anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10, s ktorou sa vykonávali merania v praktickej časti -anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10 s najväčším rozmerom  $D = 0,293\ m$  -frekvencia uprostred prenosového pásma 2600 MHz pre službu LTE  $f = 2655\ MHz$

Vlnová dĺžka  $\lambda$  pre frekvenciu  $f = 2655\ MHz$  sa vypočíta podľa vzorca 1.1. Výsledok je  $\lambda = 0,113\ m$ .

Oblasť reaktívneho blízkeho poľa  $R_{reak\_bliz}$  sa podľa vzorca 1.11 nachádza do  $0,54\text{ m}$  v okolí antény.

Oblasť vyžarovacieho blízkeho poľa  $R_{vyz\_bliz}$  sa podľa vzorca 1.12 nachádza približne od  $0,55\text{ m}$  do  $1,44\text{ m}$  v okolí antény.

Keďže minimálna (referenčná) vzdialenosť antény od prekážky  $d_{ref}$  je podľa vzorca 1.14 zhodná s polomerom oblasti vzdialeného poľa  $R_{vzd}$ , tak je jej veľkosť je  $d_{ref} = 1,439\text{ m}$

Teraz je potrebné zistiť, či sú splnené podmienky pre platnosť minimálnej (referenčnej) vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$ :

- podmienka  $d_{ref} \gg D$  je splnená, pretože  $1,493 \gg 0,293$

- podmienka  $d_{ref} \gg \lambda$  je splnená, pretože  $1,493 \gg 0,113$

- podmienka  $D \gg \lambda$  je splnená, pretože  $0,293 \gg 0,113$

Po splnení podmienok sa môže minimálna (referenčná) vzdialenosť antény od prekážky  $d_{ref}$  pre danú anténu aplikovať do praxe.

## 1.15 Odstup signálu od šumu

Odstup signálu od šumu SNR (Signal to NoiseRatio) sa získa ako pomer výkonu užitočného signálu a výkonu šumu (neužitočného signálu). Jeho jednotkou je decibel (dB). S rastúcou hodnotou odstup signálu od šumu rastie aj kvalita vysielaného signálu. Jeho hlavnou výhodou je jednoduchosť výpočtu. A jeho hlavnou nevýhodou je, že z dôvodu nestability rečových signálov nie je vhodný pre určovanie ich kvality. [15]

SNR sa vypočíta podľa vzorca 1.15 [16]:

$$SNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_{signál}}{P_{šum}} \right) \quad (1.15)$$

kde:

$SNR$  ..... odstup signálu od šumu [dB]

$P_{signál}$  .... výkon prijatého signálu [W]

$P_{šum}$  ..... výkon šumu [W]

## 2 Šírenie rádiového signálu v pásme UHF vo vnútri budov

### 2.1 Faktory ovplyvňujúce šírenie rádiového signálu

Na šíriaci sa signál pôsobia rôzne druhy fyzikálnych javov.

V rámci konštrukcií antén:

- zisk prijímacej a vysielacej antény – násobí sa ním hodnota výkonovej úrovne prijatého signálu
- aditívny šum – vzniká na prijímacej anténe vplyvom interferencií a šumu od prijímacej antény

V rámci prostredia, v ktorom sa šíri daný signál:

- útlm trasy (path loss) – zníženie výkonovej úrovne prenášaného signálu vplyvom prostredia, v ktorom sa daný signál šíri. Útlm je závislý predovšetkým na dĺžke trasy a typu prostredia. Je veľmi dôležitý pri navrhovaní bezdrôtových komunikačných systémov. Určuje výkon, zisk, výšku a umiestnenie vysielacej antény. Má vplyv aj na požadovanú citlivosť prijímacej antény a formu použitého prenosu. Počíta sa ako priemer okamžitých hodnôt výkonovej úrovne signálu, ktoré sú získané z niekoľkých meraní pri rôznych vlnových dĺžkach. [1, 3, 4]

- pomalý únik (slow fading) – vzniká v prípade, že sú medzi vysielacou a prijímacou anténou prekážky, ktoré sú v porovnaní s vlnovou dĺžkou  $\lambda$  veľké. Výkonová úroveň prijímaného signálu závisí na ohyboch, rozptyloch a odrazoch rádiových vln na daných prekážkach. Úroveň signálu môže od základného priebehu klesnúť až desiatky dB.

- Dopplerovský posun – vzniká pohybom mobilnej antény a objektov v okolí.

- rýchly únik (fast fading, Rayleigh fading) – vzniká mnohocestným šírením signálu a Dopplerovským posunom. Všetky lúče mnohocestného signálu, ktoré sú odrazené od objektov v rôznych smeroch sa v anténe fázovo sčítajú. Vzhľadom k tomu, že dochádza k oneskoreniu niektorých lúčov na pohybujúcom prijímači, dochádza k výraznému kolísaniu prijímanej úrovne signálu. Je časovo veľmi premenlivý z dôvodu pohybu prijímača a zmenami okolitého prostredia.

- Riceov únik – špeciálny prípad Rayleighovho úniku. Nastáva vtedy, keď nie je medzi vysielacou a prijímacou anténou žiadna prekážka. [1, 3, 4]

Medzi typy interakcií vlny s prekážkami patria: odraz, ohyb a rozptyl.

Celkový útlm (straty) šírením môžeme vyjadriť ako súčet dvoch zložiek a vypočíta sa pomocou vzorca 2.1 [1]:

$$L_c(p, t) = L(p) + X(t) \quad (2.1)$$

kde:

$L_c(p, t)$  ..celkové straty šírením pre mobilnú anténu v mieste p a čase t [dB]

p ..... pozícia mobilnej antény [napríklad vzdialenosť od vysielacej antény alebo súradnice]

$L(p)$  .....stredná hodnota strát daná pozíciou mobilnej antény p [dB]

$X(t)$  ..... náhodná časovo premenlivá zložka strát s nulovou strednou hodnotou daná štatistickým rozložením pomalých a rýchlych únikov v čase [dB]

## 2.2 Klasifikácia bunkového systému

Bunkový systém sa využíva napríklad pri Globálnom systéme mobilnej komunikácie GSM (Global System for Mobile communication). V bunkovom systéme sa rozdelí územie na niekoľko menších buniek. Vo vnútri každej bunky sa umiestni základňová stanica, ktorej sa pridelia isté frekvencie. Pre každú bunku platí princíp interferenčnej zóny. Ten spočíva v tom, že základňová stanica musí mať pridelené iné frekvencie ako základňová stanica v susednej bunke. Výška umiestnenia pevnej základňovej stanice má silný vplyv vzhľadom na okolité prekážky. [7]

Delenie buniek podľa ich veľkosti:

- Makrobunka – pokrýva veľkú oblasť s riedkym osídlením, anténa je umiestnená vo výške nad úrovňou striech, má polomer 1 – 30 km
- Mikrobunka – pokrýva miesta s hustým osídlením, anténa môže byť umiestnená pod strechami najvyšších stavieb, má polomer 100 m – 1 km
- Pikobunka – pokrýva priestory interiéru, anténa sa nachádza tiež vo vnútri budovy, má rozmery rádovo desiatky metrov [1]

## 2.3 Šírenie vln v jednotlivých typoch buniek

- šírenie v makrobunke – pokiaľ je pevná anténa umiestnená nad úrovňou striech a mobilná anténa na úrovni zeme, je takmer stále zabezpečená priama viditeľnosť medzi oboma anténami. Najčastejšie dochádza ku difrakcii (ohybu) vln na hranách striech. Vo veľkej miere sa tu tiež uplatňuje odrážanie od objektov, ktoré sú blízko mobilnej antény. Tým, že je anténa nad úrovňou striech, je tvar makrobunky takmer kruhový.

- šírenie v mikrobunke – signál sa šíri na priamu viditeľnosť a odrazmi od okolitých stien jednotlivých budov, kde dochádza k vlnovodivému efektu. Oproti makrobunke nemá kruhový tvar, ale jej tvar je závislý na geometrických vlastnostiach jednotlivkej bunky.

- šírenie v pikobunke – nakoľko sú aj vysielacia aj prijímacia anténa vo vnútri budovy, nachádzajú sa obvykle medzi nimi rôzne prekážky. Preto sa šíri signál zo všetkých buniek práve v pikobunke najdôležitejšími spôsobmi. Či už pomocou odrazov, alebo prechodom cez prekážky. Vzhľadom k tomu, že je šírenie signálov v pikobunke v rámci mojej práce najdôležitejšie, budem sa ním podrobnejšie zaoberať v nasledujúcej časti tohto dokumentu. [1]

## 2.4 Šírenie rádiových signálov vo vnútri budov

Signál sa v rámci budovy môže šíriť rôznymi cestami. Najväčší vplyv na jeho šírenie majú najmä prekážky, ktoré sa nachádzajú v priestore budovy. Ďalej aj stavby nachádzajúce sa v blízkosti danej budovy. Šírenie je tiež ovplyvnené aktuálnou situáciou v budove. Napríklad ak sa pri vysielaní služby Wi-Fi nachádza prístupový bod (AP) na chodbe a notebook v miestnosti naproti, tak sa prijímaná úroveň signálu môže meniť podľa toho, či:

- sú do miestnosti otvorené dvere: ak sú, tak nastáva menší útlm signálu a môže sa uplatniť vlnovodivý efekt, pri ktorom dochádza vďaka odrazom signálu od stien k lepšej prijímanej úrovni signálu ako keby sa šírila vo voľnom priestranstve bez prekážok. Pri meraní cez otvorené dvere však nastal presne opačný prípad. Hodnoty prijímanej úrovne signálu namerané cez otvorené dvere boli menšie ako hodnoty namerané bez prekážky na chodbe pred miestnosťou POREC2 [1]

- sa nachádzajú v chodbe ľudí: prijímaná úroveň signálu je závislá taktiež na prítomnosti ľudí
- je notebook zatienený telom užívateľa v smere šírenia signálu: ak nie, tak je opäť menší útlm

Pri šírení rádiového signálu vo vnútri budov môže dôjsť ku každému typu interakcie (ohybu, odrazu a rozptylu).

Signál medzi poschodiami sa môže šíriť rôznymi cestami. Či už odrazom od okolitých objektov, skrz prekážky alebo cez výťahovú šachtu, kde sa uplatňuje vlnovodivý efekt.

Pri prechode rádiového signálu cez prekážku je jedna časť jeho energie absorbovaná prekážkou a prevedie sa na iný druh energie. Ale jeho druhá oslabená časť sa šíri ďalej, zatiaľ čo ďalšia časť sa môže od prekážky odraziť. [1]

## 2.5 Vplyv materiálu prekážok na šírenie signálov

Ak signál narazí na prekážku, tak jeho útlm závisí na materiáli prekážky. Napríklad od prekážok, ktoré sú vyrobené z kovu sa signál odráža. V tabuľke 2.1 sú znázornené stupne útlmu rôznych druhov prekážok pre rádiové signály pracujúce v pásme 2400 MHz, ktoré odpovedá službe Bezdrôtová vernosť Wi-Fi (Wireless-Fidelity).

Tabuľka 2.1: Znázornenie úrovni útlmu pre rôznych materiálov pre pásmo 2400 MHz [8]

Materiál	Stupeň útlmu	Príklady
Drevo	Malý	Dvere, podlaha, prepážka
Plast	Malý	Prepážka
Sklo	Malý	Netónované okná
Tónované sklo	Stredný	Tónované okná
Voda	Stredný	Akvárium, fontána
Živé bytosti	Stredný	Davy, zvieratá, ľudia, rastliny
Tehly	Stredný	Steny
Omietka	Stredný	Prepážky
Keramika	Vysoký	Dlaždice
Papier	Vysoký	Role papiera
Betón	Vysoký	Nosné múry, podlahy, piliere
Nepriestrelné sklo	Vysoký	Nepriestrelné okno
Kov	Vysoký	Železobetón, zrkadlá, kovová skrinka, kabína výťahu

## 3 Telekomunikačné služby pre pásmo UHF

### 3.1 GSM

Globálny systém mobilnej komunikácie GSM (Global System for Mobile communication) patrí do telekomunikačných sietí druhej generácie (2G). Technológia GSM digitalizuje a komprimuje dáta. Tieto dáta posielajú dvoma smermi prostredníctvom Viacnásobného prístupu s časovým delením TDMA (Time Division Multiple Access). Každý smer má svoj slot. GSM pracuje v pásmach 850, 900, 1800 a 1900 MHz. [33, 34]

Sieť GSM sa skladá z nasledujúcich častí:

- Mobilná stanica MS (Mobile Station)
- Podsystem základňových staníc BSS (Base Station Subsystem)
- Sieťový spojovací podsystem NSS (Network Switching Subsystem)
- Operačný a podporný podsystem OSS (Operation and Support Subsystem)

Tieto časti medzi sebou v rámci siete spolupracujú. [35]

MS - je mobilný telefón, ktorý obsahuje Modul identifikujúci odoberateľa SIM (Subscriber Identity Module) kartu pre identifikovanie mobilného telefónu v sieti. Ďalej obsahuje jedinečný kód Medzinárodnej identity mobilného zariadenia IMEI (International Mobile Equipment Identity). [35]

BSS - tento podsystem sa stará o komunikáciu s mobilnými stanicami MS. Má dve časti:

- Základňová stanica BTS (Base Transceiver Station) - túto stanicu tvoria vysielač, prijímač a ich antény, ktoré priamo komunikujú s mobilnými stanicami MS
- Radič základňových staníc BSC (Base Station Controller) - združuje a riadi viacero základňových staníc BTS, prideluje kanály atď. [35]

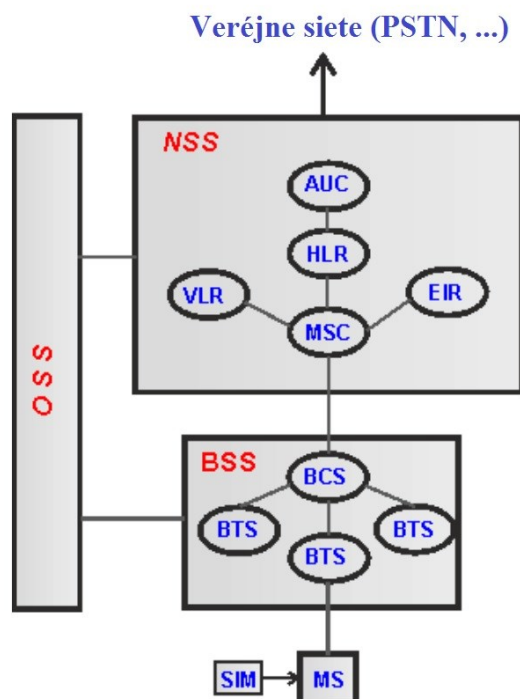
NSS - slúži pre hlavné riadenie ako rozhranie pre celú mobilnú sieť. Medzi jeho hlavné časti patrí:

- Domovský lokalizačný register HLR (Home Location Register) - jedná sa o databázu, ktorá obsahuje informácie o každom užívateľovi spolu s jeho poslednou lokalizovanou polohou
- Mobilná spínacia ústredňa MSC (Mobile Switching services Centre) - slúži ako rozhranie do verejných sietí ako je napríklad Verejná telefónna sieť PSTN (Public Switched Telephone Network). Stará sa aj napríklad o registráciu a smerovanie hovorov
- Autentizačné centrum AuC (Authentication Centre) - jedná sa o chránenú databázu, ktorá obsahuje tajný kľúč pridelený každému užívateľovi prostredníctvom SIM karty
- Náštevnícky lokalizačný register VLR (Visitor Location Register) - obsahuje informácie z HLR, na základe ktorých sa konkrétnemu užívateľovi povolia konkrétne služby
- Register mobilných staníc EIR (Equipment Identity Register) - na základe čísla IMEI rozhodne, či môže byť dané zariadenie užívateľa zaregistrované do siete
- Brána SMS SMS-G (SMS Gateway) - definuje dve brány pre odoslanie Textovej správy SMS (Short Message Service). SMS-GMSC sa používa pri odosielaní SMS správ určených pre mobilnú stanicu MS. SMS-IWMSC sa používa pri odosielaní SMS správ z mobilnej stanice MS do siete

Bránová spínacia ústredňa GSMC (Gateway Mobile Switching Centre) - je k nemu smerovaný odchádzajúci hovor od mobilnej stanice MS. Jeho hlavnou úlohou je smerovanie hovoru na správnu mobilnú smerovaciu ústredňu MSC [35, 36]

OSS - je to prvok celkovej sieťovej architektúry GSM. Je pripojený ku sieťovému spojovaciemu pod-systému NSS aj podsystemu základňových staníc BSS. Riadi a monitoruje celú sieť GSM. Na obrázku 3.1 je znázornená základná architektúra siete GSM.

Maximálna prenosová rýchlosť je 14,4 kbit/s. [37]



Obrázek 3.1: Základná architektúra siete GSM [36]

## 3.2 UMTS

Univerzálny mobilný telekomunikačný systém UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) patrí do telekomunikačných sietí tretej generácie (3G). Ponúka prístup k Internetu a ďalšie dátové a hlasové služby.

UMTS využíva Širokopásmový viacnásobný prístup s kódovým delením W-CDMA (Wide-band Code Division Multiple Access). Používa frekvenčné pásma 1800 a 2100 MHz. Pre downlink využíva frekvencie v rozsahu 2110 - 2200 MHz a pre uplink 1885 - 2025 MHz. Poskytuje prenosovú rýchlosť až 1920 kbit/s. Ale pri skutočných mobilných sieťach s viacerými užívateľmi môže poskytnúť každému z nich prenosovú rýchlosť do 384 kbit/s. Čo je ale stále vyššia prenosová rýchlosť, ako 14,4 kbit/s, ktorú ponúka technológia GSM. [38]

Vzhľadom k tomu, že UMTS je založený na štandardoch GSM sietí je možné všetky mobilné telefóny využívajúce UMTS prepnúť v prípade územia mimo UMTS siete do GSM režimu. [39]



Mobilné telefóny môžu využívať Univerzálny modul identifikujúci odberateľa USIM (Universal Subscriber Identity Module), čo je novší typ SIM karty alebo môžu používať štandardné SIM karty. [39]

### 3.3 WI-FI

Technológia Bezdrôtová vernosť Wi-Fi (Wireless Fidelity) slúži najčastejšie pre bezdrôtové vysokorýchlostné pripojenie k Internetu. K tomu používa rádiové vlny vo frekvenčných pásmach 2,4 a 5 GHz. Obvykle máva dosah do 100 metrov. Je definovaná štandardom IEEE 802.11. Jednotlivé druhy tohto štandardu sú popísané v tabuľke 3.1.

Funguje na princípe vysielania signálu od Prístupového bodu AP (Access Point) do okolia. Tento je obvykle pripojený cez káblovú sieť Ethernet do siete. Jeho úlohou je zabezpečiť funkčné spojenie medzi bezdrôtovo pripojenými užívateľmi a Internetu. Najčastejšie sa pre prenos dát na prístupovom bode nachádza všesmerová anténa.

Na to, aby sa užívatelia mohli k prístupovému bodu pripojiť, potrebujú bezdrôtový adaptér na svojom zariadení. Na tomto sa nachádza anténa. Technológia Wi-Fi je kompatibilná takmer s každým operačným systémom. Užívatelia musia byť v dosahu prístupového bodu, aby mali dostatočnú intenzitu signálu na pripojenie a následný prenos dát. V mnohých prípadoch sú siete využívajúce túto technológiu zabezpečené pomocou bezpečnostných kľúčov (WEP, WPA, atď.). Takže ak sa chce užívateľ pripojiť k prístupovému bodu, musí zadať správne heslo. [27]

Tabuľka 3.1: Tabuľka štandardov 802.11 [28]

označenie štandardu	frekvenčné pásmo [GHz]	maximálna prenosová rýchlosť [Mbit/s]
802.11	2,4	2
802.11a	5	54
802.11b	2,4	11
802.11g	2,4	54
802.11n	2,4 a 5	600

### 3.4 LTE

Dlhodobá evolúcia LTE (Long Term Evolution) patrí do telekomunikačných sietí štvrtej generácie (4G). Podobne ako technológia Wi-Fi slúži aj LTE najčastejšie na bezdrôtové vysokorýchlostné pripojenie k Internetu. Oproti technológii Wi-Fi však ponúka omnoho väčší rozsah pokrytia a vyššie prenosové rýchlosti. Maximálna prenosová rýchlosť sa blíži ku 300 Mbit/s. Na každý prístupový bod – bunku môže byť súčasne pripojených až 200 užívateľov. [29]

V našej republike sa technológia vysieľa v nasledujúcich frekvenčných pásmach: 800, 1800 a 2600 MHz.

LTE funguje tak, že sa užívateľ spojí s bunkou, ktorá je v dosahu. Uskutoční sa tak prostredníctvom antény na užívateľskom zariadení a antény na bunke. Dáta sú z bunky do siete posielané prostredníctvom dátových centier. [32]

## 4 Návrh metodiky merania útlmu prekážok

### 4.1 Uvedenie do problematiky merania

Cieľom práce bolo premerať vplyv rôznych prekážok na šírenie rádiového signálu patriaceho do pásma UHF. Spravilo sa tak meraním útlmu, ktorý tieto prekážky na prenášanom signále spôsobujú. Na základe veľkosti nameraných útlmov by mali byť známe nasledovné informácie:

- aké prekážky spôsobujú aký veľký útlm
- ako sa tento útlm mení pre dané prekážky v závislosti od frekvencie  $f$  rádiového signálu

Pri navrhovaní metodiky sa museli riešiť aj nasledujúce otázky a problémy:

- aké typy antén použiť pre meranie v UHF pásme
- aká má byť minimálna vzdialenosť antény od prekážky, aby nedošlo k znepresneniu merania
- aká má byť veľkosť prekážky, aby vysielaný signál neprechádzal aj mimo prekážky
- aká veľká má byť sila vysielaného signálu, aby som bol schopný namerať veľkosť útlmu signálu

### 4.2 Metódy pre meranie útlmu signálu cez prekážky

Metódy merania cez prekážky definuje štandard ITU-R P.2040-1, z ktorého som vychádzal pri navrhovaní mojej metodiky merania. Je možné sa zoznámiť s výstupmi od nižšie popísaných metód merania útlmu signálov. Tieto boli prevádzkané za účelom zmerania útlmu rádiových signálov v pásme UHF cez rôzne prekážky [44, 46, 47].

a) pohyb vysieláča od prekážky: pri tejto metodike sa najskôr vykoná pre danú vzdialenosť meranie bez prekážky a potom s prekážkou. Prijímač je od prekážky vzdialený v konštantnej vzdialenosti počas celého merania. Naopak, pri vysieláči sa vzdialenosť od prekážky postupne zvyšuje. Tento typ merania sa vykonáva zvyčajne pre jeden kmitočet  $f$ .

Výhody: s postupne zvyšujúcou vzdialenosťou vysieláča od prekážky sa dá dobre zistiť jej vplyv na šírenie signálu

Nevýhody: meranie sa zvyčajne vykonáva len pre jeden kmitočet

b) pohyb prijímača od prekážky: postup je rovnaký ako pri predošlej metodike, ale s tým rozdielom, že namiesto vysieláča, ktorý má v tejto metodike konštantnú vzdialenosť od prekážky pohybujeme prijímačom. Tento typ merania sa taktiež vykonáva zvyčajne pre jeden kmitočet  $f$ .

Výhody: pokiaľ máme bezdrátový prijímač, ktorý nepotrebuje aktívne napájanie (napríklad notebook alebo mobilný spektrálny analyzátor) je meranie ľahšie uskutočniteľné

Nevýhody: meranie sa zvyčajne vykonáva len pre jeden kmitočet  $f$

c) meranie s konštantnou vzdialenosťou vysieláča od prijímača: pri tejto metodike je vzdialenosť medzi vysieláčom a prijímačom konštantná. Meranie pre danú vzdialenosť sa uskutoční najskôr bez prekážky a následne s prekážkou ako tomu bolo aj v predchádzajúcich metodikách. Meranie s prekážkou sa zvyčajne vykonáva tak, že sa prekážka dáva do stredu vzdialenosti medzi vysieláčom a prijímačom. Pri tomto type merania sa nemení vzdialenosť, ale môže sa meniť kmitočet  $f$ .

Výhody: zmeranie vplyvu prekážky na šírenie signálu pre rôzne kmitočty

Nevýhody: meria sa len pre konštantnú vzdialenosť vysielača od prijímača a prekážky

### 4.3 Návrh metodiky merania

Cieľom merania bolo zistiť, aký veľký útlm spôsobujú rôzne typy prekážok na šírenie signálu v pásme UHF. Na meranie útlmu sa použili smerové antény pre pásmo UHF. Oproti všesmerovým anténam majú takú vlastnosť, že všetok vysielaný signál je sústredený len do jedného smeru, teda do smeru cez prekážku (viď. rozdelenie antén). Obe antény (aj vysielač, aj prijímač) musia byť úplne rovnaké a musia byť pri meraní umiestnené v rovnakej výške  $h$ .

Signál sa vysielal signálovým generátorom cez vysielačnú anténu. Na prijímacej strane sa použil spektrálny analyzátor, ktorý prijímal signál cez prijímačnú anténu. Schéma merajúceho pracoviska pre meranie signálu cez prekážku je na obrázku 4.1. Veľkosť prijímaného signálu bola meraná v jednotkách dBm. Pre spresnenie je možné vychádzať s priemernou nameranou hodnotou. Preto sa na spektrálnom analyzátore priemerovo 20 nameraných hodnôt pre každú vzdialenosť prijímacej antény od vysielačnej antény.

Útlm sa meral na frekvenciách, ktoré zodpovedajú telekomunikačným službám pre UHF pásmo. Konkrétne sa jednalo o služby:

Globálny systém mobilných komunikácií GSM (Global System for Mobile Communications)  
Univerzálny mobilný telekomunikačný systém UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Bezdrôtová vernosť Wi-Fi (Wireless-Fidelity)

Dlhodobá evolúcia LTE (Long Term Revolution).

Ich frekvenčné pásma sú uvedené v tabuľke 3.2. Pre každú službu sa vybrala frekvencia, ktorá sa nachádza približne uprostred pásma vyhradeného pre danú službu v ČR. Informácie o pásmach sa získali z [48, 49, 50].

Tabuľka 3.2: Služby a odpovedajúce frekvenčné pásma, na ktorých sa vykonalo meranie

služba	frekvenčné pásmo [MHz]	rozsah frekvenčného pásma [MHz]	meraná frekvencia [MHz]
<b>GSM</b>	1800	1805 - 1879	1841
<b>LTE</b>	1800	1805- 1880	1843
<b>UMTS</b>	1900	1900 - 2025	1950
<b>UMTS</b>	2100	2110 - 2200	2140
<b>Wi-Fi</b>	2400	2412 - 2472	2437
<b>LTE</b>	2600	2620 - 2690	2655

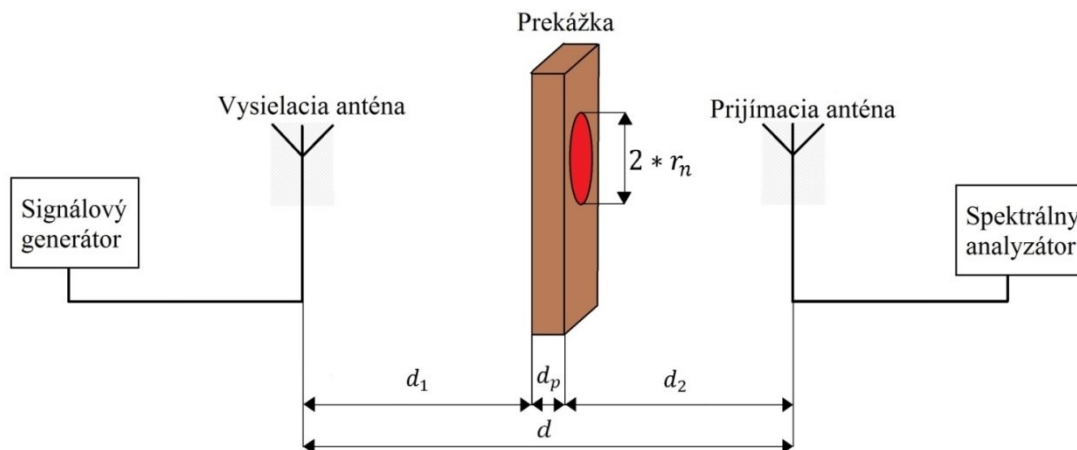
Wi-Fi pracuje aj vo frekvenčnom pásme 5200 MHz, ale to už nepatrí do pásma UHF. Služba GSM pracuje aj v pásme 900 MHz. Ten síce patrí do UHF pásma, ale anténa na ktorej sa vykonávalo meranie nespĺňa podmienku  $D \gg \lambda$  pre vzťah 1.13 na výpočet polomeru oblasti vzdialeného poľa, pretože jej najväčší rozmer  $D$  je menší ako vlnová dĺžka  $\lambda$  pre frekvencie v tomto pásme. Rovnako to platí aj pre službu LTE a jej frekvenčné pásmo 800 MHz.

Z projektovej dokumentácie uvedenej v prílohe A a z domeraných chýbajúcich hodnôt rozmerov prekážok sa získali informácie o rozmeroch premeriavaných prekážok.

Merania sa pre každú frekvenciu prevádzali nasledujúcim spôsobom:

1. Vypočítala sa vlnová dĺžka  $\lambda$  pre danú frekvenciu  $f$  podľa vzorca 1.1. Jej veľkosť bola potrebná aj pri určení minimálnej vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$  a Fresnelového polomeru  $r_n$ .
2. Vypočítala sa minimálna vzdialenosť antény od prekážky  $d_{ref}$  podľa 1.13.
3. Na základe tejto hodnoty podstúpila každá prekážka kontrolu, ktorej účelom bolo určiť, či bude vyhovovať pre meranie od vzdialenosti  $d_{ref}$  a väčšej. Znamená to, že z každej strany prekážky musel byť dostatočný priestor od vzdialenosti  $d_{ref}$  aspoň taký, aby bolo možné namerať cez prekážku minimálne 10 hodnôt s krokom 0,2 m. Pri meraní musela byť dodržaná podmienka  $d_1 = d_2$ . Znamená to, že vzdialenosť vysielačnej antény od prekážky  $d_1$  a vzdialenosť prijímacej antény od prekážky  $d_2$  musela byť pre každé meranie rovnaká.
4. Pre vyhovujúce vzdialenosti  $d$  sa vypočítal polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  podľa vzorca 1.4 priemer (dvojnásobok  $r_n$ ) nemohol prekročiť šírku ani výšku prekážky. Ako náhle by bol väčší, tak by sa pre väčšiu vzdialenosť  $d$  už meranie nevykonalo. Ale kvôli priestorovým obmedzeniam neprekročil ani v jednom prípade polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  rozmery prekážky. Pri sklenej výplni a drevených dverách v učebni POREB 317 sa meralo do vzdialenosti  $d = 5$  m. Pri stene v učebni POREB213 sa meralo do vzdialenosti  $d = 5,2$  m. Na väčších vzdialenostiach sa už meranie so splnenou podmienkou  $d_1 = d_2$  nedalo kvôli priestorovým obmedzeniam uskutočniť. Pre daný kmitočet  $f$  sa vytvorila pre každú prekážku tabuľka.
5. Zmerala sa hodnota signálu bez prekážky pre vzdialenosť vysielačnej od prijímacej antény  $d$  od celkovej najmenšej vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$  do celkovej najväčšej vzdialenosti, ktorá bola umožnená na prekážkach. Toto meranie sa prevádzalo s krokom merania 0,2 m. Namerané hodnoty prijatého signálu pre každú  $d$  sa zapísali do tabuľky do stĺpca: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm].
6. Zmerala sa hodnota signálu cez prekážku pre vyhovujúce vzdialenosti vysielačnej od prijímacej antény  $d$  s krokom 0,2 m. Namerané hodnoty prijatého signálu cez prekážku pre každú  $d$  sa zapísali do tabuľky do stĺpca: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm].

Všetky vzdialenosti  $d$  sa merali pomocou dvoch kusov zvinonovacích metrov a jedného laserového merača vzdialenosti. Znázornenie merajúceho pracoviska pri meraní signálu cez prekážku je na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Schéma premerania signálu zo signálového generátoru RF signálu cez prekážku

Obecné znázornenie merajúceho pracoviska je na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2: Fotografia merajúceho pracoviska pri meraní útlmu sklenenej výplne v učebni PO-REB317.

Čo sa týka polomeru Fresnelovej zóny  $r_n$ , tak by meranie mohlo byť vykonané aj pre 2., prípadne 3. Fresnelovu zónu. Meranie by sa tým spresnilo, pretože v ďalších Fresnelových zónach je zbytok výkonu prenášaného signálu. Ale čo sa týka vzdialenosti medzi prijímajúcou a vysielajúcou anténou  $d$ , tak by bolo možné vykonať o dosť menší počet meraní s podmienkou, aby priemer (dvojnásobok  $r_n$ ) neprekročil rozmery prekážky. Dalo by sa to vyriešiť znížením kroku merania z 0,2 na 0,1 m, ale namerané hodnoty v stĺpci by sa od seba až tak nelíšili ako pri meraní s krokom 0,2 m. Vzhľadom k tomu, že je v 1. Fresnelovej zóne väčšina výkonu prenášaného signálu, tak sa meralo len pre polomer  $r_n$  1. Fresnelovej zóny. Na obrázku 4.3 je znázornený polomer  $r_n$  1. a 2. Fresnelovej

zóny. Jedná sa o signál frekvencie  $f = 1841 \text{ MHz}$ , ktorá odpovedá službe GSM pre vzdialenosť  $d = 4,6 \text{ m}$  na sklenenej výplni na učebni POREB317. Sklenená výplň má rozmer  $2,3 \times 1,3 \times 0,005 \text{ m}$ . Polomer  $r_n$  1. Fresnelovej zóny má  $0,437 \text{ m}$ , čiže priemer je  $0,874 \text{ m}$  a spĺňa šírku aj výšku sklenenej výplne. Na obrázku je znázornený tmavomodrou farbou. Ale polomer  $r_n$  2. Fresnelovej zóny má  $0,619 \text{ m}$ , čiže priemer má  $1,238 \text{ m}$ . Ten síce spĺňa šírku sklenenej výplne vrátane orámovania, ale presahuje šírku samotného skla, ktorá je  $1,23 \text{ m}$ . Na obrázku je znázornený oranžovou farbou. Polomer  $r_n$  3. Fresnelovej zóny je ešte väčší ( $0,795 \text{ m}$ ) a presahuje šírku sklenenej výplne aj vrátane orámovania. Na obrázku je znázornený červenou farbou. Polomery  $r_n$  sú na obrázku znázornené len približne na ukážku. Anténa musí byť umiestnená v dobrej výške. Pretože ak by bola v tomto prípade napríklad moc vysoko, tak by polomer  $r_n$  1. Fresnelovej zóny (a zároveň priemer) mohlo zasahovať aj do oblasti horného kovového orámovania sklenenej výplne.



Obrázek 4.3: Znázornenie polomerov  $r_n$  pre 1., 2. a 3. Fresnelovú zónu.

Útlm prekážky pre danú frekvenciu  $f$  sa z tabuľky vypočítal nasledovne:

1. Pre každú hodnotu  $d$  z tabuľky sa vypočítal útlm ako rozdiel hodnôt v stĺpcoch: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm] a prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]. Ak bola hodnota v stĺpci: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm] menšia ako hodnota v stĺpci: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm], tak sa zapísal do stĺpca útlm [dB] ako rozdiel týchto hodnôt. Ale ak bola náhodou v stĺpci: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm] väčšia ako hodnota v stĺpci: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm], tak sa zapísal do stĺpca útlm [dB] ako rozdiel týchto hodnôt, ale dalo sa pred neho záporné znamienko (-). V tomto prípade totižto došlo k zisku a nie k útlmu. Po správnosti by ale k zisku nemalo dôjsť.

2. Spriemerovali sa hodnoty v stĺpci útlm [dB], ale len ak boli kladné. Takže zisk sa do priemeru samozrejme nezapočítaval. Vyšiel útlm signálu spôsobený prekážkou pre daný kmitočet.

Nakoniec sa tieto hodnoty dali do tabuľky. Na základe hodnôt z tejto tabuľky je možné porovnať vplyv daných prekážok na šírenie rádiového signálu.

#### 4.4 Použité zariadenia a komponenty

Merajúce pracovisko sa skladalo z týchto komponentov:

- signálový generátor Rohde & Schwarz SMB 100A. Datasheet od prístroja sa nachádza v prílohe na CD.
- spektrálny analyzátor Rohde & Schwarz FSH8. Datasheet od prístroja sa nachádza v prílohe na CD.
- 2 x smerová anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10. Technické špecifikácie od prístroja sú v prílohe (doplniť prílohu).
- 2 x reproduktorový stojan Adam Hall
- 2 x RF kábel s konektormi typu N male: 1 kus BELDEN VENLO HOLLAND (15675) 50 OHM LOW LOSS H155 PVC (204 cm) a 1 kus BELDEN VENLO HOLLAND (15675) 2008 50 OHM LOW LOSS H155 PVC (101 cm)
- 2 kusy zvinovacích metrov (3m a 5m)
- laserový merač vzdialenosti EM 55

##### 4.4.1 Signálový generátor Rohde & Schwarz SMB 100 A

Tento generátor sa využíval pre vysielanie signálu cez vysielaciu anténu. Je schopný vysielat' RF signál s frekvenciou od 9 kHz do 3,2 GHz, čím kompletne spĺňa celý rozsah UHF. Sila vysielaného RF signálu má rozsah od -145 do 30 dBm. Ako výstup sa použil 50  $\Omega$  RF konektor typu N female na prednom paneli. Na tento konektor sa pripojil RF kábel typu N. Ten sa ďalej prepojil na kábel od vysielacej antény.

Vysielanie signálu sa nastavuje pomocou troch blokov [41]:

- ModGen: v tomto bloku sa dajú nastavovať vnútorné modulačné zdroje. Nachádza sa tu aj vnútorný generátor LF signálu s analógovými AM, FM a PM moduláciami. Tie môžu mať tvar obdĺžnika alebo sínusu. Signál vygenerovaný týmto blokom sa vysielá cez LF konektor typu BNC female. Tento blok je ale pre toto meranie nepotrebný. Preto bol vypnutý.
- Modulation: cez tento blok sa nastavujú vnútorné a vonkajšie analógové modulácie. V ponuke sú nasledovné modulácie: AM, FM a PM, stereo a pulzná. Tento blok bol pri meraní vypnutý.
- RF: cez tento blok sa nastavuje frekvencia a sila (Level) vysielaného RF signálu. Signál vygenerovaný týmto blokom sa vysielá cez 50  $\Omega$  RF konektor typu N female na prednom paneli. Tento blok bol pri meraní zapnutý.

Indikácia toho, či je blok zapnutý alebo vypnutý znázorňuje check button On a farba daného bloku. Ak je farba bloku modrá a checkbutton On je zaškrtnutý, tak je daný blok zapnutý. Ak je farba bloku hnedá a checkbutton nie je zaškrtnutý, tak je daný blok vypnutý. Zapnutie a vypnutie bloku sa prevádza cez tlačidlá RF ON/OFF, MOD ON/OFF, alebo pomocou otočného gombíka. Frekvencia



vysielaného RF signálu sa nastavuje cez tlačidlo **FREQ** alebo pomocou otočného gombíka. Sila vysielaného signálu sa nastavuje cez tlačidlo **LEVEL** alebo pomocou otočného gombíka. Hodnota frekvencie a sily (level) vysielaného signálu sa zadáva cez numerickú klávesnicu. Tieto všetky tlačidlá a otočný gombík sa nachádzajú na prednom paneli. [41]

#### 4.4.2 Spektrálny analyzátor Rohde & Schwarz FSH8

Tento spektrálny analyzátor sa použil na meranie výkonovej úrovne prijímaného signálu. Je schopný prijímať RF signál s frekvenciou od 9 kHz do 8 GHz, čím kompletne spĺňa celý rozsah UHF. Ako vstup sa použil 50  $\Omega$  RF konektor typu N female na prednom paneli. Na tento konektor sa pripojil RF kábel typu N. Ten sa ďalej prepojil na kábel od prijímacej antény.

Na prednom paneli sa nachádza obrazovka a nastavovacie tlačidlá. Spektrálny analyzátor dokáže pracovať v nasledujúcich režimoch [42]:

- spektrálny analyzátor
- merač výkonu
- sieťový analyzátor
- meranie poruchovosti káblov a antén
- režim prijímača
- analyzátor rušenia
- analyzátor digitálnych modulácií

Pre toto meranie sa použil režim spektrálneho analyzátora. Je to prednastavený režim tohto prístroja. Sila prijímaného signálu sa merala v jednotkách dBm.

Najskôr bolo potrebné nastaviť, čo sa bude merať. To sa nastavilo cez tlačidlo **MEAS**. Potom sa vybralo **Meas Mode** a z neho sa vybralo **Channel power**. Potom sa nastavila frekvencia  $f$ , na ktorej sa merala. Najskôr sa nastavila centrálna frekvencia: stlačením tlačidla **FREQ** a pomocou nastavovacích tlačidiel sa nastavila hodnota centrálnej frekvencie  $f$ . Potom sa nastavila šírka pásma kanálu okolo centrálnej frekvencie  $f$ : stlačením tlačidla **MEAS** sa zobrazila ponuka, z ktorej sa vybralo **Chan BW** a pomocou nastavovacích tlačidiel sa zadala šírka pásma kanálu. Pre spresnenie merania sa spriemerovalo 20 hodnôt z nameraných hodnôt pre každú vzdialenosť prijímacej antény od vysielačnej antény ( $d$ ): stlačením tlačidla **TRACE** sa zobrazila ponuka, z ktorej sa vybralo **Trace Mode**, z neho režim **Average** a nastavil sa na hodnotu 20. Po tomto kroku sa na displeji zobrazovala spriemerovaná hodnota z dvadsiatich hodnôt. Nameraná hodnota sa zobrazila v hornom riadku **Power**: v jednotkách dBm [42].



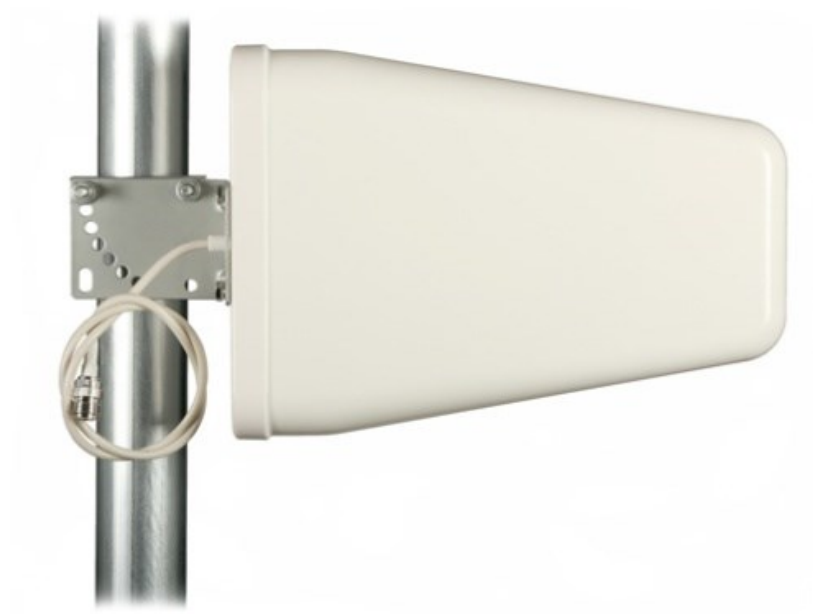


Obrázek 4.4: Spektrálny analyzátor Rohde & Schwarz FSH8 (hore) a signálový generátor Rohde & Schwarz SMB 100A (dole)[41, 42]

#### 4.4.3 Smerová anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10

Táto smerová anténa je určená na vysielanie a príjem v nasledujúcich frekvenčných pásmach: od 0,698 do 0,8GHz, od 0,8 do 0,96 GHz a od 1,7 do 2,7 GHz. Z antény je vyvedený kábel typu N. Má vertikálnu polarizáciu. V prílohe C sú uvedené jej základné technické parametre [43].

Pomocou tejto antény je možné merať útlm signal na frekvenciách  $f$  odpovedajúcim pre služby GSM, UMTS, Wi-Fi a LTE. Na obrázku 4.5 je znázornená daná atnéna.



*Obrázek 4.5: Smerová anténa TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10[43]*

Obrázky ostatných komponentov sú uvedené v prílohe na CD.

## 5 Realizácia merania

### 5.1 Realizácia samotného merania

Meranie sa vykonávalo na nasledujúcich prekážkach:

#### DVERE

Miestnosť: učebňa POREB317

Rozmery: 1 x 2,3 x 0,045 m

Materiál: drevo

#### SKLENENÁ VÝPLŇ

Miestnosť: učebňa POREB317

Rozmery: 1,3 x 2,3 x 0,005 m

Materiál: sklo

#### STENA

Miestnosť: učebňa POREB213

Rozmery: 3,24 x 4,206 x 0,15 m

Materiál: sadrokartónová priečka (SDK), dvojito opláštená (GW1)

Projektové dokumentácie od oboch učební sa nachádzajú v prílohe A.

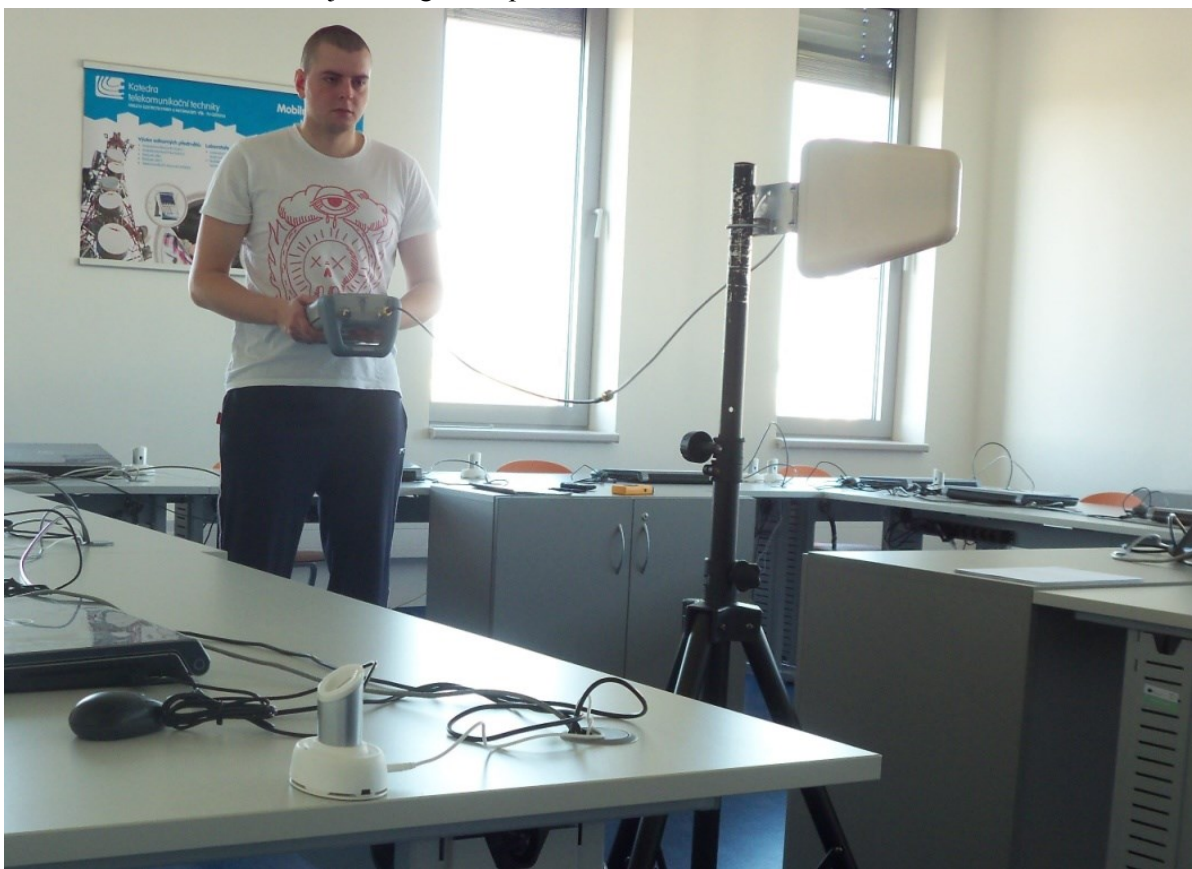
Fotografie prekážok sú na obrázku 5.1. Ostatné fotografie prekážok sa nachádzajú v prílohe na CD.



Obrázek 5.1: Fotografie premeriavaných prekážok - dvere (vľavo), sklenená výplň (v strede) a stena (vpravo)

Presné zloženie materiálov sa nepodarilo zistiť. Ale nakoľko majú moje výstupné hodnoty útlmu slúžiť pre simulačný program šírenia signálu v budove, kde je potrebné vedieť aký útlm má stena, dvere a sklo, tak nie je potrebné presné zloženie materiálov daných prekážok.

Na obrázku 5.2: je fotografia priamo z merania útlmu dverí v učebni POREB317.



Obrázek 5.2: Meranie útlmu dverí v učebni POREB317

Výkon vysielaného signálu zo signálového generátoru cez vysielaciu anténu mal počas všetkých meraní nastavenú hodnotu  $P_{\text{Lebel}} = 20 \text{ dBm}$ .

#### 5.1.1 Meranie referenčných hodnôt bez prekážky

Meranie referenčných hodnôt bez prekážky sa prevádzalo tak, že pre všetky vzdialenosti vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa zmerala úroveň prijímaného signálu pre všetky frekvencie. Tabuľka s nameranými a vypočítanými hodnotami je k dispozícii v prílohe B.1.

#### 5.1.2 Meranie útlmu dverí

Útlm spôsobený dverami v učebni EB317 sa namerával nasledujúcim spôsobom:

- meranie prebiehalo od minimálnej vzdialenosti antény od prekážky  $d_{\text{ref}}$  pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  až po  $d = 5 \text{ m}$ . Meranie pre väčšiu vzdialenosť  $d$  pri dodržaní podmienky  $d_1 = d_2$  kvôli priestorovému obmedzeniu z chodby nebolo možné uskutočniť. Polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  bol vypočítaný pre vnútornú šírku a výšku dverí (0,905 x 2,25 m).
- pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa ako hodnoty prijatého signálu v dBm bez prekážky nepoužili referenčné hodnoty namerané bez prekážky na chodbe, ale hodnoty namerané cez otvorené dvere. Spravilo sa tak preto, aby sa zmeral len útlm dverí. V prípade, že by sa ako hodnoty bez prekážky použil referenčné hodnoty bez prekážky name-

- rané na chodbe, tak by sa zmeral okrem útlmu dverí aj útlm zárubní, steny a sklenenej výplne, ktoré zasahujú do 2. a 3. Fresnelovej zóny pri väčších vzdialenostiach antén vysielacej od prijímacej antény  $d$ .
- ako hodnoty prijatého signálu dBm cez prekážku sa použili hodnoty namerané cez zatvorené dvere
  - pri každej vzdialenosti vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa zmerali hodnoty pre všetky frekvencie

Tabuľka s nameranými a vypočítanými hodnotami je k dispozícii v prílohe B.2 a B.3.

### 5.1.3 Meranie útlmu sklenenej výplne

Útlm spôsobený sklenenou výplňou v učebni EB317 sa namerá nasledujúcim spôsobom:

- meranie prebiehalo od minimálnej vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$  pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  až po  $d = 5$  m. Meranie pre väčšiu vzdialenosť  $d$  pri dodržaní podmienky  $d_1 = d_2$  kvôli priestorovému obmedzeniu z chodby nebolo možné uskutočniť. Polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  bol vypočítaný pre vnútornú šírku a výšku sklenenej výplne (1,23x2,21m).
- pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa ako hodnoty prijatého signálu v dBm bez prekážky použili referenčné hodnoty namerané bez prekážky na chodbe. Oproti dverám, sa so sklenenou výplňou nedá nijakým spôsobom manipulovať, takže ako hodnoty prijatého signálu v dBm bez prekážky sa museli použiť referenčné hodnoty namerané bez prekážky na chodbe.
- ako hodnoty prijatého signálu dBm cez prekážku sa použili hodnoty namerané cez sklenenú výplň
- pri každej vzdialenosti vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa zmerali hodnoty pre všetky frekvencie

Tabuľka s nameranými a vypočítanými hodnotami je k dispozícii v prílohe B.4 a B.5.

### 5.1.4 Meranie útlmu steny

Útlm spôsobený stenou v učebni EB213 sa namerá nasledujúcim spôsobom:

- meranie prebiehalo od minimálnej vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$  pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  až po  $d = 5,2$  m. Meranie pre väčšiu vzdialenosť  $d$  pri dodržaní podmienky  $d_1 = d_2$  kvôli priestorovému obmedzeniu z chodby nebolo možné uskutočniť. Polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  bol vypočítaný pre rozmery steny (3,24 x 4,206 m).
- pre každú vzdialenosť vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa ako hodnoty prijatého signálu v dBm bez prekážky použili referenčné hodnoty namerané bez prekážky na chodbe. Oproti dverám sa so stenou nedá tiež nijakým spôsobom manipulovať, takže ako hodnoty prijatého signálu v dBm bez prekážky sa museli použiť referenčné hodnoty namerané bez prekážky na chodbe
- ako hodnoty prijatého signálu dBm cez prekážku sa použili hodnoty namerané cez stenu

- pri každej vzdialenosti vysielacej od prijímacej antény  $d$  sa zmerali hodnoty pre všetky frekvencie

Tabuľka s nameranými a vypočítanými hodnotami je k dispozícii v prílohe.

## 5.2 Namerané výsledky

Na základe nameraných hodnôt boli vypočítané hodnoty útlmu pre prekážky.

Názorná ukážka spracovania hodnôt:

Jedná sa o meranie útlmu sklenenej výplne v učebni POREB317 pre službu Wi-Fi na frekvencii  $f = 2437 \text{ MHz}$ . Namerané a vypočítané hodnoty útlmu spôsobené touto prekážkou na tejto frekvencii  $f$  sa nachádzajú v tabuľke 5.1. Pri meraní na každej prekážke sa pre každú frekvenciu postupovalo rovnakým spôsobom.

1. Najskôr sa musela spočítať vlnová dĺžka  $\lambda$  pre danú frekvenciu  $f$  pomocou vzorca 1.1

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299792458}{2437 \cdot 10^6} = 0,123 \text{ (m)}$$

2. Vypočítaná vlnová dĺžka sa dosadila pre výpočet minimálnej (referenčnej) vzdialenosti antény od prekážky podľa vzorca 1.14. Najväčší rozmer antény  $D$  meria 0,293 m.

$$d_{ref} = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,293^2}{0,123} = 1,396 \text{ (m)}$$

3. Po spočítaní vzdialenosti  $d_{ref}$  sa preskúmalo, či bude možné namerať na danej prekážke pre danú frekvenciu aspoň 10 hodnôt s krokom 0,2 m pri zvyšovaní vzdialenosti medzi anténami  $d$ .

4. Sklenená výplň túto podmienku splnila. V tomto momente trebalo vypočítať, či polomer 1. Fresnelovej zóny  $r_n$  pre merané vzdialenosti  $d$  neprekročí rozmery prekážky. Ako je vidieť z tabuľky 5.1, tak sklenená výplň túto podmienku splnila. V tabuľke je pre názornú ukážku znázornený aj polomer 2. a 3. Fresnelovej zóny  $r_n$ . Ako je z tabuľky vidieť, tak pre vzdialenosť  $d = 4,2 \text{ m}$  už polomer 3. Fresnelovej zóny  $r_n$  presahuje šírku skla v tejto výplni (1,23 m) a preto je jeho hodnota znázornená červenou farbou. Pri nižších frekvenciách presahoval rozmery prekážky už polomer 2. Fresnelovej zóny  $r_n$ . Hodnoty polomerov 1., 2. a 3. Fresnelovej zóny sú zaokruhlené na 3 desatinné miesta. Tabuľky nameraných útlmov v prílohe stĺpec s hodnotou polomerov 1., 2. a 3. Fresnelovej zóny  $r_n$  pre svoju jednoduchosť už neobsahujú.

5. Minimálna vzdialenosť antén  $d$  sa podľa vzťahu 1.5 skladá zo vzdialenosti  $d_1$  a  $d_2$ , ktoré predstavujú vzdialenosti antén od prekážky. Pri meraní museli byť vzdialenosti  $d_1$  a  $d_2$  minimálne rovné minimálnej (referenčnej) vzdialenosti antény od prekážky  $d_{ref}$ . Vzhľadom k tomu, že hrúbka sklenej výplne meria len 0,005 m sa začalo od vzdialenosti  $d = 2,8 \text{ m}$ . Maximálna vzdialenosť medzi anténami  $d$  z dôvodu priestorových obmedzení pracoviska nemohla pri dodržaní podmienky  $d_1 = d_2$  prekročiť hranicu  $d = 5 \text{ m}$ .

6. Pri meraní sa pre každú vzdialenosť antén  $d$  zapisovali prijaté hodnoty výkonovej úrovne signálu do stĺpca: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]. Hodnoty prijatej úrovne signálu v stĺpcoch: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm] a prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm] sú zaokruhlené na 1 desatinné miesto, tak ako ich zmeral analyzátor.



7. V stĺpci: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm] sa nachádzajú hodnoty namerané bez prekážky na chodbe.

8. Útlm sa pre každú vzdialenosť antén  $d$  vypočítal ako rozdiel hodnôt v stĺpci: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm] od stĺpca: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]. Ak bola hodnota v stĺpci: prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm] väčšia ako hodnota v stĺpci: prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm], tak sa jednalo o útlm a rozdiel hodnôt sa zapísal do stĺpca: útlm [dB] ako kladná hodnota. V opačnom prípade došlo k zisku a rozdiel hodnôt sa zapísal do stĺpca: útlm [dB] so záporným znamienkom.

9. Na určenie útlmu prekážky pre danú frekvenciu sa spriemerovali hodnoty v stĺpci: útlm [dB]. Pokiaľ sa v tomto stĺpci nachádzali aj záporné hodnoty (zisky), tak tie sa do priemeru nezapočítavali. V tomto prípade ale k tomu nedošlo. Hodnota priemerného útlmu je zaokruhlená na 2 desatinné miesta.

Tabulka 5.1: Namerané a vypočítané hodnoty pre útlm sklenenej výplne na frekvencii 2437 MHz

vzdialenosť antén $d$ [m]	polomer 1. Fresnelovej zóny $r_n$ [m]	polomer 2. Fresnelovej zóny $r_n$ [m]	polomer 3. Fresnelovej zóny $r_n$ [m]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2,8	0,293	0,415	0,508	-18,9	- 22	3,1
3	0,304	0,43	0,526	-19,4	- 21,7	2,3
3,2	0,314	0,444	0,543	-19,3	- 23,3	4
3,4	0,323	0,457	0,56	-19,7	- 23,5	3,8
3,6	0,333	0,471	0,576	-20,7	- 23,4	2,7
3,8	0,342	0,483	0,592	-22,2	- 24	1,8
4	0,351	0,496	0,607	-21,3	- 24,9	3,6
4,2	0,359	0,508	0,622	-22	- 22,3	0,3
4,4	0,368	0,52		-24,4	- 28,5	4,1
4,6	0,376	0,532		-23,8	- 24	0,2
4,8	0,384	0,543		-22,4	- 25	2,6
5	0,392	0,555		-24,2	- 28,2	4
Priemerný útlm: 2,71 dB						

Tabuľky s nameranými a vypočítanými hodnotami pre ostatné prekážky a frekvencie  $f$  sa nachádzajú v prílohe B.

### 5.2.1 Útlm spôsobený dverami

Hodnoty útlmu spôsobeného dverami pre všetky frekvencie sú v tabuľke 5.2.

Tabuľka 5.2: Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného dverami

služba a jej frekvencia [MHz]	GSM 1841	LTE 1843	UMTS 1950	UMTS 2140	Wi-Fi 2437	LTE 2655
útlm [db]	1,49	1,51	1,76	2,82	3,26	3,33

### 5.2.2 Útlm spôsobený sklenenou výplňou

Hodnoty útlmu spôsobeného sklenenou výplňou pre všetky frekvencie sú v tabuľke 5.3.

Tabuľka 5.3: Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného sklenenou výplňou

služba a jej frekvencia [MHz]	GSM 1841	LTE 1843	UMTS 1950	UMTS 2140	Wi-Fi 2437	LTE 2655
útlm [db]	1,18	1,18	1,44	2,01	2,71	2,92

### 5.2.3 Útlm spôsobený stenou

Hodnoty útlmu spôsobeného stenou pre všetky frekvencie sú v tabuľke 5.4.

Tabuľka 5.4: Referenčné hodnoty útlmu spôsobeného stenou

služba a jej frekvencia [MHz]	GSM 1841	LTE 1843	UMTS 1950	UMTS 2140	Wi-Fi 2437	LTE 2655
útlm [db]	11,08	11,1	9,52	11,31	8,68	7,41

## 5.3 Zhodnotenie nameraných výsledkov

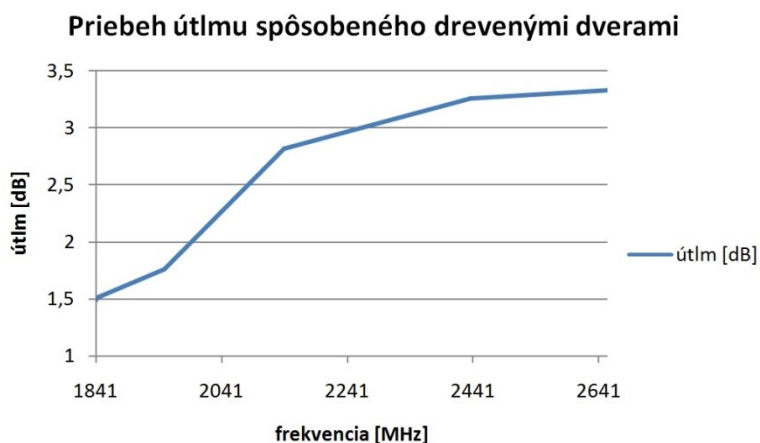
Z tabuliek 5.2, 5.3 a 5.4 sa stanovili priemerné hodnoty útlmu v pásme UHF pre každú prekážku ako priemer hodnôt v každej tabuľke, ktoré sú uvedené v tabuľke 5.5. Tieto hodnoty sú zaokrúhlené na dve desatinné miesta. Najmenší útlm spôsobuje sklenená výplň. O niečo väčší útlm spôsobujú dvere a najväčší útlm spôsobuje stena.



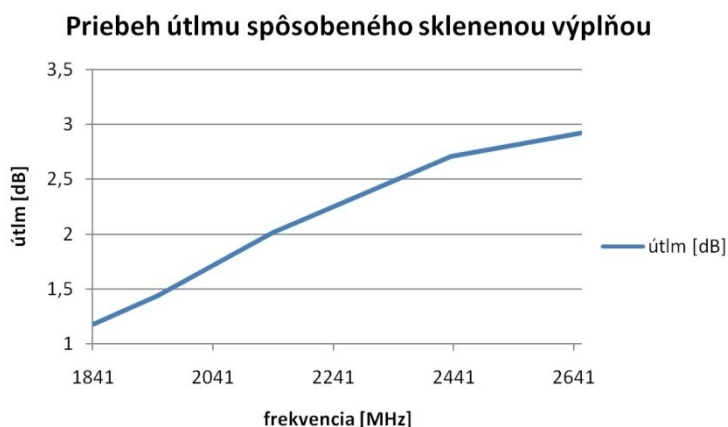
Tabuľka 5.5: Priemerné hodnoty útlmu každej prekážky pre pásmo UHF

Prekážka	Priemerný útlm [dB]
sklenená výplň	1,91
drevené dvere	2,36
stena	9,85

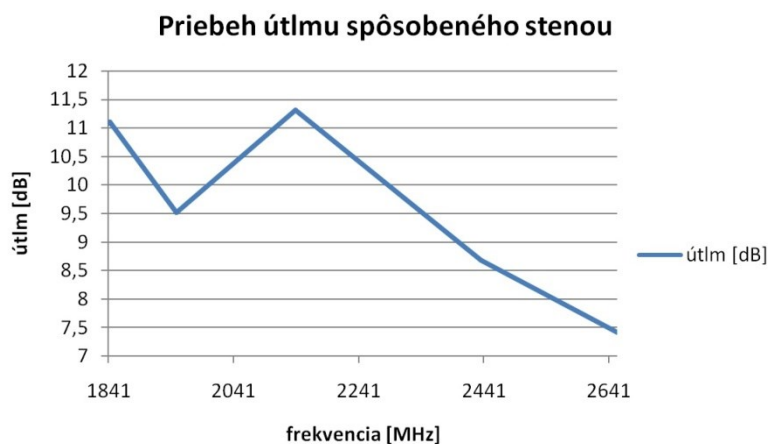
Ku každej prekážke je vykreslený graf, ktorý znázorňuje priebeh útlmu pre danú prekážku so vzrastajúcou frekvenciou signálu  $f$ . Na obrázku 5.3 je znázornený priebeh útlmu spôsobeného drevenými dverami. Na obrázku 5.4 je znázornený priebeh útlmu spôsobeného sklenenou výplňou. Na obrázku 5.5 je znázornený priebeh útlmu spôsobeného stenou a na obrázku 5.6 sú znázornené priebehy útlmu na všetkých prekážkach.



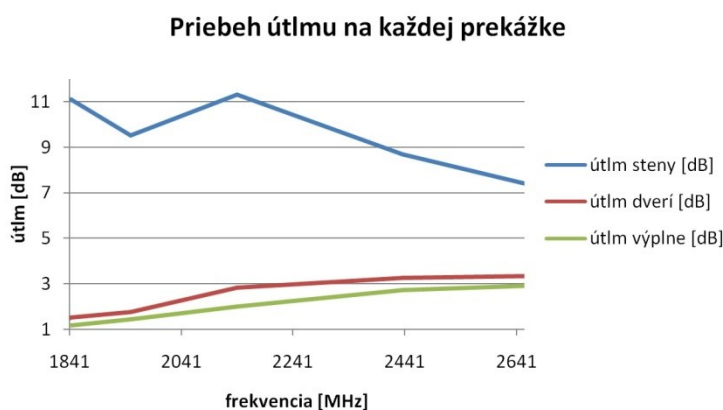
Obrázek 5.3: Graf priebehu útlmu spôsobeného drevenými dverami



Obrázek 5.4: Graf priebehu útlmu spôsobeného sklenenou výplňou



Obrázek 5.5: Graf priebehu útlmu spôsobeného stenou



Obrázek 5.6: Graf priebehov útlmov spôsobených všetkými prekážkami

Z obrázku 5.6 je vidieť, že pri drevených dverách a sklenenej výplni sa útlm so zvyšujúcou frekvenciou zvyšuje. Pri stene je priebeh nestabilný. Od frekvencie 1841 MHz do 1843 MHz je takmer rovnaký ako pri ostatných prekážkach. Od frekvencie 1843 MHz do 1950 MHz klesne približne o 1,5 dB. Od frekvencie 1950 MHz do 2140 MHz stúpne približne o 1,8 dB. Od frekvencie 2140 MHz klesá až do frekvencie 2655 MHz, kde je útlm približne o 4 dB nižší.

Podľa teoretických predpokladov by sa mal útlm so zvyšujúcou frekvenciou zvyšovať. Toto ale neplatí pre namerané hodnoty útlmu na stene. Preto bola stena podrobená meraniu opakovane. Vyšli ale približne rovnaké výsledky.

### 5.3.1 Zrovnanie výsledkov s dostupnými zdrojmi

Prvý zdroj uvádza namerané útlmy pre službu Wi-Fi v pásmach 2,4 a 5 GHz. Namerané hodnoty útlmov sa nachádzajú v tabuľke č. Pre účel tohto merania sú dôležité hodnoty útlmov v stĺpci: 2.4 GHz Attenuation. Jedná sa o nasledujúce materiály [51]:

- Hollow Solid Door 1.75" - útlm 6 dB (jedná sa o útlm plných drevených dverí)
- Interior Office Window 1" - útlm 3 dB (jedná sa o útlm kancelárskej sklennej výplne)
- Interior Hollow Wall 6" - útlm 9 dB (jedná sa o útlm dutej steny v interiéri)

Tabuľka 5.6: Hodnoty útlmov z prvého zdroja [51]

Building Material	2.4 GHz Attenuation	5 GHz Attenuation
Solid Wood Door 1.75"	6 dB	10 dB
Hollow Wood Door 1.75"	4 dB	7 dB
Interior Office Door w/Window 1.75"/0.5"	4 dB	6 dB
Steel Fire/Exit Door 1.75"	13 dB	25 dB
Steel Fire/Exit Door 2.5"	19 dB	32 dB
Steel Rollup Door 1.5"	11 dB	19 dB
Brick 3.5"	6 dB	10 dB
Concrete Wall 18"	18 dB	30 dB
Cubical Wall (Fabric) 2.25"	18 dB	30 dB
Exterior Concrete Wall 27"	53 dB	45 dB
Glass Divider 0.5"	12 dB	8 dB
Interior Hollow Wall 4"	5 dB	3 dB
Interior Hollow Wall 6"	9 dB	4 dB
Interior Solid Wall 5"	14 dB	16 dB
Marble 2"	6 dB	10 dB
Bullet-Proof Glass 1"	10 dB	20 dB
Exterior Double Pane Coated Glass 1"	13 dB	20 dB
Exterior Single Pane Window 0.5"	7 dB	6 dB
Interior Office Window 1"	3 dB	6 dB
Safety Glass-Wire 0.25"	3 dB	2 dB
Safety Glass-Wire 1.0"	13 dB	18 dB

V porovnaní s týmto zdrojom sa namerané útlmy líšia nasledovne:

- nameraný útlm dverí v pásme 2400 MHz (3,26 dB) je o 2,74 dB menší ako útlm dostupný z tohoto zdroja (6 dB)
- nameraný útlm sklenenej výplne v pásme 2400 MHz (2,71 dB) je o 0,29 dB menší ako útlm dostupný z tohoto zdroja (3 dB)
- nameraný útlm steny v pásme 2400 MHz (8,68 dB) je o 0,32 dB menší ako útlm dostupný z tohoto zdroja (9 dB)

Hodnoty útlmov steny a sklenenej výplne sa oproti tomuto zdroju líšia maximálne o 0,32 dB, čo sa dá brať ako nie veľký rozdiel. Nameraný útlm drevených dverí pri tomto meraní je ale raz taký menší ako útlm drevených dverí dostupný z tohoto zdroja. Vzhľadom k tomu, že z tohto zdroja nie sú presne známe materiály prekážok, ktoré sa použili sa vynára otázka, aké drevené dvere boli použité pri meraní.

Druhý zdroj uvádza namerané útlmy pre službu Wi-Fi v pásmach 2,4. Namerané hodnoty útlmov sa nachádzajú v tabuľke č. Pre účel tohto merania sú dôležité hodnoty útlmov v stĺpci: 2.4 GHz.

Jedná sa o nasledujúce materiály [52]:

- Wooden Door (Hollow - Solid) - útlm 3 - 4 dB (jedná sa o útlm dutých/vyplnených drevených dverí)
- Glass Window (Not tinted) - útlm 2 - 3 dB (jedná sa o útlm netieneného skleneného okna)
- Interior drywall - útlm 3 - 4 dB (jedná sa o útlm sadrokartónovej steny)

Tabuľka 5.7: Hodnoty útlmov z druhého zdroja [52]

	2.4 GHz	5 GHz
Interior drywall	3-4	3-5
Cubicle Wall	2-5	4-9
Wooden Door (Hollow - Solid)	3-4	6-7
Brick/Concrete Wall	6 -18	10 - 30
Glass Window (Not tinted)	2-3	6-8
Double Pane Coated Glass	13	20
Bullet Proof Glass	10	20
Steel/Fire Exit Door	13-19	25-32

V porovnaní s týmto zdrojom sa namerané útlmy líšia nasledovne:

- nameraný útlm dverí v pásme 2400 MHz (3,26 dB) leží v rozsahu hodnôt útlmu dostupných z tohoto zdroja (3 - 4 dB)
- nameraný útlm sklenenej výplne v pásme 2400 MHz (2,71 dB) leží v rozsahu hodnôt útlmu dostupných z tohoto zdroja (2 - 3 dB)
- nameraný útlm steny v pásme 2400 MHz (8,68 dB) je o 4,68 dB väčší ako najväčšia hodnota z rozsahu hodnôt útlmu dostupných z tohoto zdroja (4 dB)

Hodnoty útlmov drevených dverí a sklenenej výplne ležia v rozsahu hodnôt útlmov uvedených v tomto zdroji. Hodnota útlmu steny je ale viac než raz tak väčšia ako hodnota útlmu uvedená v tomto zdroji. Vzhľadom k tomu, že z tohto zdroja nie sú presne známe materiály prekážok, ktoré sa použili sa vynára otázka, aká sadrokartónová stena bola použitá pri meraní. Je dosť možné, že sa jednalo len o klasickú jednu sadrokartónovú dosku. Pri tomto meraní sa meralo cez dvojito opláštenú sadrokartónovú dosku. Preto je možné, že je útlm tejto prekážky v tomto meraní vyšší.

Tretí zdroj uvádza namerané útlmy pre službu Wi-Fi v pásmach 2,4. Namerané hodnoty útlmov sa nachádzajú v tabuľke č. Pre účel tohto merania sú dôležité hodnoty nasledujúcich materiálov [53]:

- Window Brick Wall - útlm 2 dB (jedná sa o útlm skla v okne s tehlovým obložením)
- Office Wall - útlm 3 - 4 dB (jedná sa o útlm steny v kancelárii)

Tabuľka 5.8: Hodnoty útlmov z tretieho zdroja [53]

<b>Table 1 - 2.4 GHz Signal Attenuation</b>	
Window Brick Wall	2 dB
Metal Frame Glass Wall into Building	6 dB
Office Wall	6 dB
Metal Door in Office Wall	6 dB
Cinder Block Wall	4 dB
Metal Door in Brick Wall	12.4 dB
Brick Wall next to Metal Door	3 dB

V porovnaní s týmto zdrojom sa namerané útlmy líšia nasledovne:

- nameraný útlm sklenenej výplne v pásme 2400 MHz (2,71 dB) je o 0,71 dB väčší ako hodnota útlmu dostupná z tohoto zdroja (2 dB)
- nameraný útlm steny v pásme 2400 MHz (8,68 dB) je o 2,68 dB väčší ako najväčšia hodnota z rozsahu hodnôt útlmu dostupných z tohoto zdroja (6 dB)

Hodnoty útlmov steny a sklenenej výplne sa oproti tomuto zdroju líšia maximálne o 2,68 dB, konkrétne pri útlme steny. Vzhľadom k veľkosti oboch hodnôt (6 a 8,68 dB) sa tento rozdiel (2,68 dB) nejaví ako moc veľký. V tomto zdroji nie je presne špecifikovaný materiál steny. Aj napriek tomu sa opäť vynára otázka, aká stena bola použitá pri meraní.

Namerané výsledky útlmov, najmä útlmu steny mohli byť do určitej miery ovplyvnené nasledujúcimi faktormi:

- skladanie signálov v pásme UHF: aj keď sa pre meranie použili za účelom eliminovania iných signálov na rovnakej frekvencii  $f$  smerové antény, nie je vylúčené, že sa iné signály alebo ich časti nedostali do prijímacej antény. Na merajúcich pracoviskách sú služby Wi-Fi vysielané na 6. kanále, ktorého frekvencia  $f$  je totožná s tou, na ktorej sa meralo (2437 MHz).

- Fresnelove polomery  $r_n$  vyššieho rádu: pri meraní bola dodržaná podmienka pre Fresnelov polomer  $r_n$  1. rádu. Ak by sa meralo aj pre Fresnelove polomery vyššieho rádu, tak by bolo meranie presnejšie. Toto ale vzhľadom k priestorovým obmedzeniam nebolo možné uskutočniť.

- minimálna vzdialenosť antény od prekážky  $d_{ref}$ : pri meraní bola dodržaná podmienka pre minimálnu vzdialenosť antény od prekážky  $d_{ref}$ . Pri vyšších vzdialenostiach antén  $d$  bola síce dodržaná táto podmienka, ale v oblasti vzdialeného (Fraunhoferovho) poľa vysielacej antény nebol zo zadnej strany z dôvodu priestorových obmedzení voľný priestor. Ak by bol počas celého merania v oblasti vzdialeného poľa voľný priestor, tak by bolo meranie presnejšie.

- odrazy signálu: Pri meraní dochádzalo aj k odrazom signálu alebo jeho častí. Ak by sa meralo napríklad v bezodrazovej komore, bolo by meranie presnejšie.

Za zmienku stojí aj to, že bolo meranie obmedzené nasledujúcimi okolnosťami:

- doba merania sa musela prispôbiť otváracím hodinám univerzity

## Realizácia merania

---

- učebne, v ktorých sa meralo majú časovo obmedzený prístup z dôvodu, že v nich prebieha výuka (najviac vyťažená bola učebňa POREB213, v ktorej sa merala stena)
- prístroje a zariadenia, ktoré sa pre toto meranie použili slúžia pri výuke predmetov na tejto univerzite
- príprava a odladovanie metodiky trvalo celkom dlhý čas, dokiaľ sa metodika merania dostala do finálnej podoby

## Záver

Mojou úlohou v rámci tejto bakalárskej práce bolo premerať vplyvy rôznych typov prekážok na šírenie rádiového signálu. Konkrétne sa jednalo o meranie útlmu, ktoré prekážky spôsobujú. Namerané hodnoty budú slúžiť ako hodnoty útlmov v simulačnom programe šírenia signálu v pásme UHF cez typy prekážok, na ktorých bolo vykonané meranie.

Porovnaním hodnôt útlmov premeriavaných prekážok s hodnotami z iných dostupných zdrojov sa zistilo, že niektoré hodnoty sú takmer rovnaké a niektoré sa líšia. Namerané hodnoty útlmov steny neodpovedajú teoretickým predpokladom a to v tom zmysle, že nedochádza vždy k stúpaniu útlmu so zvyšujúcou frekvenciou. Aj napriek opakovaným meraniam sa namerané hodnoty steny výrazne nelíšili oproti predošlým nameraným hodnotám. Hodnoty útlmov drevenných dverí a sklenenej výplne odpovedajú teoretickým predpokladom a považujem ich za najdôveryhodnejšie.

Po spriemerovaní hodnôt útlmov nameraných na každej prekážke sa zistilo, že najmenší útlm spôsobuje sklenená výplň, o niečo vyšší drevenné dvere a najväčší útlm spôsobuje stena. Tieto hodnoty odpovedajú hodnotám z dostupných zdrojov a rovnako aj teoretickému predpokladu.

Spočiatku vypracovávanie tejto práce som sa oboznámil s teoretickými poznatkami týkajúcimi sa tejto problematiky, ktoré som neskôr zúžitkoval pri návrhu metodiky merania útlmu cez dané prekážky.

Počas meraní som bol obmedzený niekoľkými faktormi, ktoré mi neľahčili činnosť. Jednalo sa hlavne o časové obmedzenie prístupu na merajúce pracovisko a rovnako aj nestála dostupnosť zariadení použitých pri tomto meraní ako boli antény, signálový generátor, spektrálny analyzátor a ďalšie neoddeliteľné súčasti môjho merajúceho pracoviska. Bol som obmedzený aj priestormi merajúceho pracoviska, ktoré mi nie vždy dokázali poskytnúť ideálne podmienky pre meranie a teda logicky nemôžu byť dosiahnuté ideálne výsledky. Na druhej strane sú aj výsledky neodpovedúce teoretickým predpokladom typickou ukážkou toho, ako sa teoretické predpoklady nemusia vždy uplatniť v reálnom svete.

Do budúcnosti by som navrhoval premerať opätovne útlm všetkých meraných prekážok v rámci inej BP/DP za ideálnych podmienok a okolností, napríklad v bezodrazovej komore.

## Použitá literatura

- [1] PECHAČ, Pavel. Modely šíření vln v zástavbě. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-186-1.
- [2] ON THE AIR: Rozdelenie frekvencií [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://ontheair.webnode.sk/frekvencne-pasma/rozdelenie-frekvencii/>
- [3] Technologie pro mobilní komunikaci: Problémy šíření rádiového signálu [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/obecne-sireni.htm>
- [4] Radio-Electronics.com: Radio Signal Path Loss [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/path-loss/rf-signal-loss-tutorial.php>
- [5] Šíření elektromagnetických vln: Fresnelova zóna [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://hroch.spseol.cz/~burda/Sireni\\_elmag\\_vln/2\\_Typy\\_sireni\\_elmag\\_vln/2.3\\_Prima\\_prostoro\\_vlna/2.3.1\\_Fresnelova\\_zona.html](http://hroch.spseol.cz/~burda/Sireni_elmag_vln/2_Typy_sireni_elmag_vln/2.3_Prima_prostoro_vlna/2.3.1_Fresnelova_zona.html)
- [6] CCTV Kalkukátor: Fresnelova zóna [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.cctvkalkulator.cz/cs/vypocty/fresnelova-zona/>
- [7] VEŘEJNÝ RADIOTELEFONNÍ SYSTÉM GSM [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.telskol-pohoda.wz.cz/files/tps/20.VEREJNY\\_RADIOTELEFONNI\\_SYSTEM\\_GSM.pdf](http://www.telskol-pohoda.wz.cz/files/tps/20.VEREJNY_RADIOTELEFONNI_SYSTEM_GSM.pdf)
- [8] CCM: Propagation of Radio Waves (802.11) [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://ccm.net/contents/832-propagation-of-radio-waves-802-11>
- [9] Rozdělení radiových vln a jejich šíření [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://dlabos.wz.cz/en/Rozdeleni\\_radiovych\\_vln\\_a\\_jejich\\_sireni.html](http://dlabos.wz.cz/en/Rozdeleni_radiovych_vln_a_jejich_sireni.html)
- [10] VLASTNOSTI ELEKTROMAGNETICKÉHO POLA [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://alzat.spseke.sk/radiote/elmag/vlastnosti.htm>
- [11] Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies: NATIONAL SEVERE STORMS LABORATORY POLARIMETRIC RADAR RESEARCH [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://cimms.ou.edu/~schuur/radar.html>
- [12] Pira.cz: Všeobecně o anténách [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.pira.cz/antena.htm>
- [13] SlidePlayer: Radio and Electronics Fundamentals [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/4806805/>
- [14] AIR802: Mobile 2.4 GHz WiFi Antenna, 7 dBi, Magnetic Mount, RP-SMA Connector [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.air802.com/antenna-wifi-2.4-ghz-7-dbi-gain-mobile-magnetic-mount.html>



- [15] KOVARČÍK, Jiří. Objektívni metody hodnocení kvality řeči [online]. Brno, 2010 [cit. 2016-04-25]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce: Ing. Peter Sysel, Ph.D. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=30797](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30797)
- [16] Signal-to-noise ratio. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio)
- [17] Živě.cz: Průvodce výběrem správné antény na Wi-Fi připojení [online]. 2005 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/pruvodce-vyberem-spravne-anteny-na-wi-fi-pripojeni/sc-3-a-126652/>
- [18] Svět Androida: Proč je síla signálu telefonu uváděna v záporných hodnotách a co vyjadřuje? [online]. 2015 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.svetandroida.cz/sila-signalu-201503>
- [19] RapidTables: Decibel-milliwatt (dBm) [online]. © 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.rapidtables.com/electric/dBm.htm#Watt\\_to\\_dBm](http://www.rapidtables.com/electric/dBm.htm#Watt_to_dBm)
- [20] RapidTables: dBm to watts conversion [online]. © 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm\\_to\\_Watt.htm](http://www.rapidtables.com/convert/power/dBm_to_Watt.htm)
- [21] RapidTables: What is a decibel (dB)? [online]. © 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.rapidtables.com/electric/decibel.htm>
- [22] Antenna-Theory.com: Field Regions [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.antenna-theory.com/basics/fieldRegions.php>
- [23] Giangrandi.ch: Field regions around an antenna [online]. 2012 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.giangrandi.ch/electronics/anttool/regions.shtml>
- [24] Für Mikrofonaufnahmetechnik und Tonstudiotchnik: Radio waves and light waves in a vacuum [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-wavelength.htm>
- [25] DVORSKÝ, Marek. Základy bezdrátových komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3557-0.
- [26] Webpark homepage of Martin Hajny: ŠÍŘENÍ VLN V BLÍZKÉ A VZDÁLENÉ ZÓNĚ ANTÉNY [online]. Univerzita Pardubice, DFJP, KEEZ [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://hajny.webpark.cz/RADAR/Schejbal.pdf>
- [27] CCM: What is WiFi and How Does it Work? [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://ccm.net/faq/298-what-is-wifi-and-how-does-it-work>
- [28] Electronic Design: Understanding IEEE 802.11ac VHT Wireless [online]. 2012 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/communications/understanding-ieee-80211ac-vht-wireless>
- [29] Techopedia: Long Term Evolution (LTE) [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/8149/long-term-evolution-lte>

- [30] Air802: Grid Antenna, 5.1 to 5.8 GHz, 29.5 dBi Gain with L-bracket [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.air802.com/grid-antenna-5.1-to5.8-ghz-29.5-dbi-gain.html>
- [31] Air802: Sector Antenna, 2.4 GHz WiFi, 17dBi, 90°, 0-20° Adjustable Up/Down Tilt [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.air802.com/sector-antenna-wifi-2.4-ghz-17-dbi-90-degree-vertical-polarization.html>
- [32] Sprint Newsroom: How 4G LTE Works [online]. 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://newsroom.sprint.com/news-releases/how-4g-lte-works.htm>
- [33] TechTarget: GSM (Global System for Mobile communication) [online]. 2007 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GSM>
- [34] MobileBurn.com: What is "GSM"? [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.mobileburn.com/definition.jsp?term=GSM>
- [35] Katedra radioelektroniky K 13137, ČVUT FEL Praha: Struktura sítě GSM [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05\\_semestralky/Struktura\\_GSM\\_Ondrej\\_Dudek.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/Struktura_GSM_Ondrej_Dudek.pdf)
- [36] Radio-Electronics.com: GSM Network Architecture [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm\\_technical/gsm\\_architecture.php](http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm_technical/gsm_architecture.php)
- [37] Askingbox: Mobile Communication: What are GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA and LTE? [online]. 2012 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.askingbox.com/info/mobile-communication-what-are-gsm-gprs-edge-umts-hspa-and-lte>
- [38] TelecomSpace: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.telecomspace.com/3g-umts.html>
- [39] Techopedia: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/5092/universal-mobile-telecommunications-system-umts>
- [40] Vysielacia anténa: Typy antén. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 0015n. 1. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Vysielacia\\_ant%C3%A9na](https://sk.wikipedia.org/wiki/Vysielacia_ant%C3%A9na)
- [41] Rohde & Schwarz - Rohde & Schwarz United States: R&S®SMB100A RF and Microwave Signal Generator Operating Manual [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuals/gb\\_1/s/smb/SMB100A\\_OperatingManual\\_en\\_19.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/s/smb/SMB100A_OperatingManual_en_19.pdf)
- [42] Rohde & Schwarz - Rohde & Schwarz United States: R&S®FSH4/8/13/20 Spectrum Analyzer Operating Manual [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_manuals/gb\\_1/f/fsh\\_1/FSH\\_OperatingManual\\_en\\_FW270.pdf](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/f/fsh_1/FSH_OperatingManual_en_FW270.pdf)

- [43] NEJCENY.cz: Anténa LTE/3G/GSM/DCS TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10 + konektor N(f) [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.nej-ceny.cz/363458/antena-lte-3g-gsm-dcs-trans-data-lte-kyz-7-5-8-10-konektor-n-f.html>
- [44] IJAET Portal: ANALYSIS AND MEASUREMENT OF WI-FI SIGNALS IN INDOOR ENVIRONMENT [online]. 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.e-ijaet.org/media/13114-IJAET0514232\\_v6\\_iss2\\_678to687.pdf](http://www.e-ijaet.org/media/13114-IJAET0514232_v6_iss2_678to687.pdf)
- [45] 2012 IEEE Globecom Workshops. Piscataway: IEEE, 2012. ISBN 9781467349420.
- [46] DLABAČ, Petr. Šíření radiových vln u bezdrátových systémů [online]. Zlín, 2015 [cit. 2016-04-25]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce: doc.Ing. František Hruška, Ph.D. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/33996/dlaba%C4%8D\\_2015\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/33996/dlaba%C4%8D_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [47] Alibaba - špionážna technika: Pokusné merania [online]. 2012 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.alibaba.sk/component/k2/pokusn%C3%A9-merania>
- [48] GSMweb.cz: Frekvenční přiděl na pásmech GSM, DCS, UMTS a LTE v České republice [online]. 2015 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.gsmweb.cz/clanky/freq2.htm>
- [49] PC Revue: Všetko o Wi-Fi / 1. část [online]. 2009 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://old.itnews.sk/tituly/pc-revue/clanky/2009-07-07/c1185-vsetko-o-wi-fi-1.-cast>
- [50] Wireless frequency bands - Free: LTE frequency band [online]. 2016 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://niviuk.free.fr/lte\\_band.php](http://niviuk.free.fr/lte_band.php)
- [51] Fandom - Powered by Wikia: Wi-Fi [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://wireless.wikia.com/wiki/Wi-Fi>
- [52] Airheads Community: RF Basics - Part 1 [online]. 2007 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://community.arubanetworks.com/aruba/attachments/aruba/tkb@tkb/121/1/RF-Basics\\_Part1.pdf](http://community.arubanetworks.com/aruba/attachments/aruba/tkb@tkb/121/1/RF-Basics_Part1.pdf)
- [53] ERASME: Indoor Radio WLAN Performance Part II: Range Performance in a Dense Office Environment [online]. Florida [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: [http://www.erasme.org/IMG/experience\\_attenuation.pdf](http://www.erasme.org/IMG/experience_attenuation.pdf)

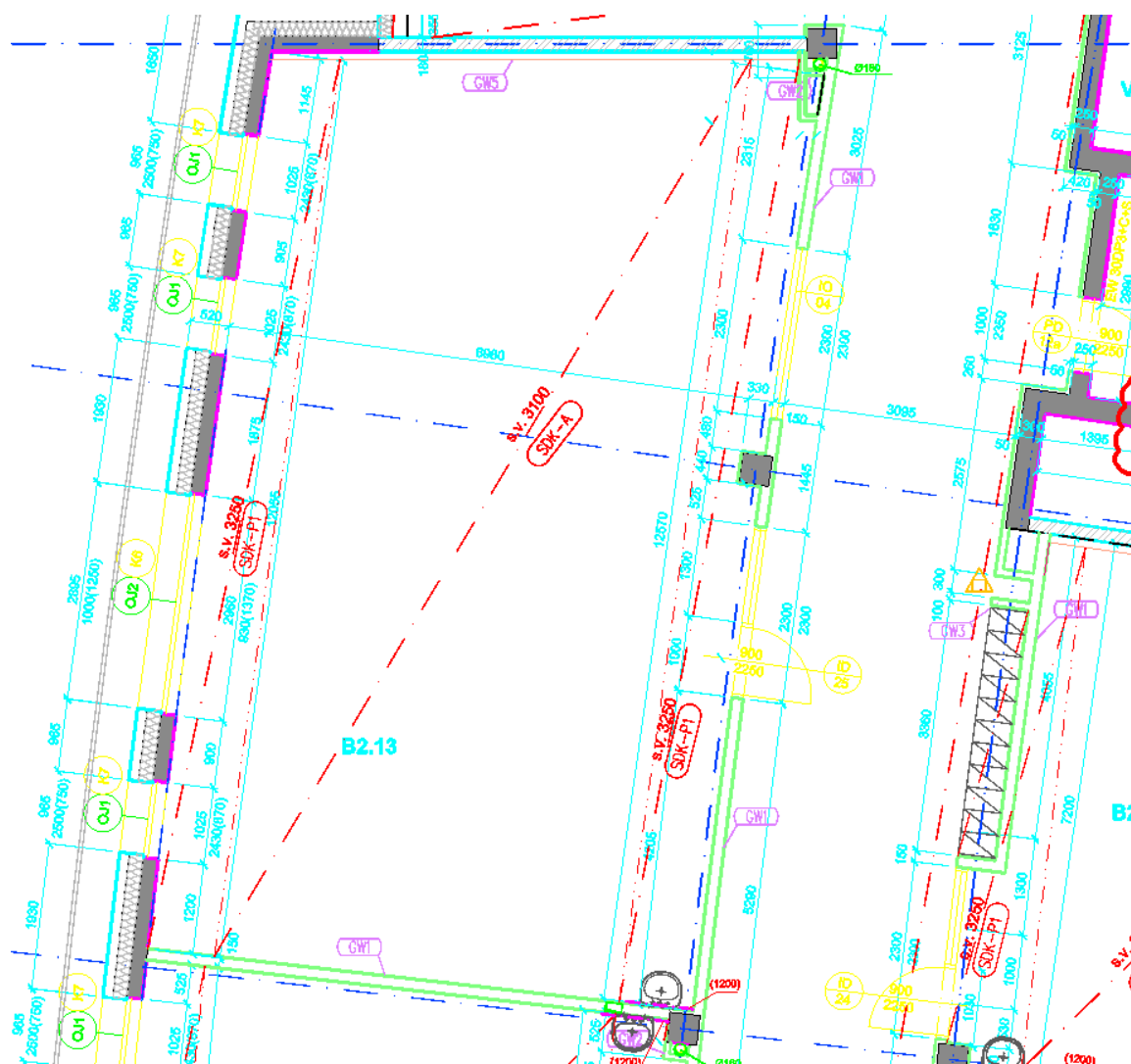
## Zoznam príloh

Príloha A:	Projektová dokumentácia učební POREB213 a POREB317 .....	I
Príloha B:	Namerané hodnoty .....	II
Príloha C:	Technické špecifikácie antény TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10 .....	III

Príloha na CD/DVD.

Adresárová štruktúra priloženého CD/DVD:

/datasheety/	Datasheety od signálového generátoru a spektrálneho analyzátoru.
/fotografie/	Fotografie merajúceho pracoviska, komponentov, zariadení a prekážok.



Obrázok A.1: Projektová dokumentácia učebne POREB213



---

Příloha B: *Namerané hodnoty*

Tabulka B.1: Tabulka nameraných hodnôt bez prekážky

<u>vzdialenosť</u> <i>d</i> <u>[m]</u>	<u>frekvencia</u>					
	<u>1841 MHz</u>	<u>1843 MHz</u>	<u>1950 MHz</u>	<u>2140 MHz</u>	<u>2437 MHz</u>	<u>2655 MHz</u>
	prijímaná úroveň signálu [dBm]	prijímaná úroveň signálu [dBm]	prijímaná úroveň signálu [dBm]	prijímaná úroveň signálu [dBm]	prijímaná úroveň signálu [dBm]	prijímaná úroveň signálu [dBm]
2	-11,7	-12	-----	-----	-----	-----
2,2	-12,5	-14	-14,8	-----	-----	-----
2,4	-13,2	-13,9	-15,3	-17,7	-----	-----
2,6	-13,8	-14,5	-17,6	-18,2	-----	-----
2,8	-15,2	-16	-17,3	-18,6	-18,9	-----
3	-14,6	-15,6	-18,2	-19,6	-19,4	-20,6
3,2	-15,3	-15,7	-17,9	-20,5	-19,3	-20,7
3,4	-17,2	-16,6	-18,1	-20,7	-19,7	-21,4
3,6	-16,9	-17,8	-18,9	-21,2	-20,7	-22,9
3,8	-16,3	-16,8	-19,8	-21,3	-22,2	-23,4
4	-17,1	-18,1	-20,6	-21,6	-21,3	-23,4
4,2	-18,3	-17,4	-20,4	-21,9	-22	-24,8
4,4	-19,3	-19,3	-22,1	-21,5	-24,4	-26,1
4,6	-18,5	-18,8	-22,7	-23	-23,8	-24,7
4,8	-18	-18,7	-22,4	-21,5	-22,4	-25,5
5	-18,6	-18	-22,8	-21,6	-24,2	-24,6
5,2	-18,1	-18,3	-21	-21,8	-23,6	-26,2

Tabuľka B.2: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu dverí pre 1. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	1841 MHz			1843 MHz			1950 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2	-17,5	- 20	2,5	-18,7	- 21,3	2,6	-----	-----	-----
2,2	-19,4	- 21,8	2,4	-21,5	- 21,3	-0,2	-20,1	- 24,7	4,6
2,4	-18,8	- 21,6	2,8	-18,7	- 22,2	3,5	-27	- 28,8	1,8
2,6	-20,2	- 20	-0,2	-20	- 22,3	2,3	-24	- 23,9	-0,1
2,8	-19	- 21,8	2,8	-18,8	- 21,5	2,7	-21	- 22,8	1,8
3	-19,1	- 21,5	2,4	-18,9	- 19,3	0,4	-18,8	- 21,3	2,5
3,2	-18,6	- 19,1	0,5	-19,2	- 19,9	0,7	-20	- 22,4	2,4
3,4	-19,3	- 19,2	-0,1	-20	- 21	1	-19,3	- 21,3	2
3,6	-18,6	- 19,8	1,2	-18,4	- 20,4	2	-21,5	- 22,1	0,6
3,8	-18,7	- 19,9	1,2	-19,2	- 19,9	0,7	-20,8	- 21,3	0,5
4	-21,7	- 22	0,3	-21,7	- 21,5	-0,2	-20,5	- 21,5	1
4,2	-19,4	- 19,7	0,3	-20,1	- 21	0,9	-21,1	- 21,9	0,8
4,4	-17,9	- 18,6	0,7	-18,6	- 19,5	0,9	-21,8	- 22,2	0,4
4,6	-19,3	- 21,1	1,8	-19,3	- 21,2	1,9	-20,7	- 21,4	0,7
4,8	-20,3	- 22	1,7	-20,6	- 21,5	0,9	-19,2	- 21,5	2,3
5	-21,8	- 22	0,2	-22,4	- 23	0,6	-20,5	- 23,7	3,2
	Priemerný útlm: 1,49 dB			Priemerný útlm: 1,51 dB			Priemerný útlm: 1,76 dB		

Tabuľka B.3: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu dverí pre 2. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	2140 MHz			2437 MHz			2655 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2,4	-21,8	- 25,8	4	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,6	-23,7	- 26,9	3,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,8	-24,2	- 29	4,8	-25,1	- 30,7	5,6	-----	-----	-----
3	-24,9	- 27,6	2,7	-27,2	- 34,8	7,6	-26,5	- 35,9	9,4
3,2	-26,1	- 26,4	0,3	-26,3	- 30,7	4,4	-33,6	- 35,1	1,5
3,4	-23,4	- 24,8	1,4	-30,5	- 31,1	0,6	-34,6	- 36	1,4
3,6	-22,3	- 23,9	1,6	-24,3	- 25,5	1,2	-27,7	- 32,1	4,4
3,8	-20,2	- 22,8	2,6	-26,1	- 29,7	3,6	-34,3	- 37,8	3,5
4	-21,6	- 25,2	3,6	-23,3	- 26,7	3,4	-29,6	- 32,9	3,3
4,2	-25,4	- 28,9	3,5	-25,1	- 30,2	5,1	-32,4	- 34,2	1,8
4,4	-24,4	- 25,5	1,1	-27,5	- 31	3,5	-32,2	- 33,5	1,3
4,6	-21,6	- 25,7	4,1	-26,2	- 27,3	1,1	-30,9	- 32,3	1,4
4,8	-23	- 26,8	3,8	-27,3	- 29,5	2,2	-28,3	- 33,2	4,9
5	-22,7	- 22,6	-0,1	-28,6	- 29,4	0,8	-29,7	- 33,4	3,7
	Priemerný útlm: 2,82 dB			Priemerný útlm: 3,26 dB			Priemerný útlm: 3,33 dB		



Tabuľka B.4: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu skenenej výplne pre 1. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	1841 MHz			1843 MHz			1950 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2	-11,7	-14,8	3,1	-12	-14,3	2,3	-----	-----	-----
2,2	-12,5	-13,8	1,3	-14	-14,1	0,1	-14,8	-18	3,2
2,4	-13,2	-13,3	0,1	-13,9	-14	0,1	-15,3	-18,3	3
2,6	-13,8	-13,9	0,1	-14,5	-14,7	0,2	-17,6	-18	0,4
2,8	-15,2	-15,4	0,2	-16	-16,3	0,3	-17,3	-17,4	0,1
3	-14,6	-15	0,4	-15,6	-16,5	0,9	-18,2	-18,3	0,1
3,2	-15,3	-15,5	0,2	-15,7	-16,7	1	-17,9	-18,1	0,2
3,4	-17,2	-17,4	0,2	-16,6	-16,9	0,3	-18,1	-18,9	0,8
3,6	-16,9	-18	1,1	-17,8	-18,7	0,9	-18,9	-19,6	0,7
3,8	-16,3	-20,3	4	-16,8	-18,2	1,4	-19,8	-24,3	4,5
4	-17,1	-17,8	0,7	-18,1	-21,9	3,8	-20,6	-22,3	1,7
4,2	-18,3	-18,5	0,2	-17,4	-18,2	0,8	-20,4	-26	5,6
4,4	-19,3	-19,4	0,1	-19,3	-20,2	0,9	-22,1	-22,6	0,5
4,6	-18,5	-18,7	0,2	-18,8	-18,9	0,1	-22,7	-22,9	0,2
4,8	-18	-20,5	2,5	-18,7	-20,5	1,8	-22,4	-22,8	0,4
5	-18,6	-23	4,4	-18	-22	4	-22,8	-23	0,2
	Priemerný útlm: 1,18 dB			Priemerný útlm: 1,18 dB			Priemerný útlm: 1,44 dB		

Tabuľka B.5: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu skenenej výplne pre 2. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	2140 MHz			2437 MHz			2655 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2,4	-17,7	-20,2	2,5	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,6	-18,2	-20,3	2,1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,8	-18,6	-19,1	0,5	-18,9	-22	3,1	-----	-----	-----
3	-19,6	-20	0,4	-19,4	-21,7	2,3	-20,6	-24,6	4
3,2	-20,5	-20,8	0,3	-19,3	-23,3	4	-20,7	-25,1	4,4
3,4	-20,7	-21	0,3	-19,7	-23,5	3,8	-21,4	-25,4	4
3,6	-21,2	-21,3	0,1	-20,7	-23,4	2,7	-22,9	-25,8	2,9
3,8	-21,3	-21,2	-0,1	-22,2	-24	1,8	-23,4	-26,1	2,7
4	-21,6	-23,6	2	-21,3	-24,9	3,6	-23,4	-26,6	3,2
4,2	-21,9	-25,7	3,8	-22	-22,3	0,3	-24,8	-27	2,2
4,4	-21,5	-24	2,5	-24,4	-28,5	4,1	-26,1	-27,3	1,2
4,6	-23	-29	6	-23,8	-24	0,2	-24,7	-27	2,3
4,8	-21,5	-26	4,5	-22,4	-25	2,6	-25,5	-27,3	1,8
5	-21,6	-25	3,4	-24,2	-28,2	4	-24,6	-28	3,4
	Priemerný útlm: 2,01 dB			Priemerný útlm: 2,71 dB			Priemerný útlm: 2,92 dB		

Tabuľka B.6: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu steny pre 1. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	1841 MHz			1843 MHz			1950 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2,2	-12,5	- 23,8	11,3	-14	- 23,9	9,9	-----	-----	-----
2,4	-13,2	- 21,4	8,2	-13,9	- 21,5	7,6	-15,3	- 24,8	9,5
2,6	-13,8	- 21,8	8	-14,5	- 22,1	7,6	-17,6	- 26,1	8,5
2,8	-15,2	- 25,3	10,1	-16	- 25,7	9,7	-17,3	- 25,4	8,1
3	-14,6	- 23,7	9,1	-15,6	- 24,2	8,6	-18,2	- 26,8	8,6
3,2	-15,3	- 24,9	9,6	-15,7	- 24,8	9,1	-17,9	- 27,7	9,8
3,4	-17,2	- 29,1	11,9	-16,6	- 29,6	13	-18,1	- 26,8	8,7
3,6	-16,9	- 31,4	14,5	-17,8	- 32,1	14,3	-18,9	- 31,7	12,8
3,8	-16,3	- 31,8	15,5	-16,8	- 32,3	15,5	-19,8	- 31,5	11,7
4	-17,1	- 28,2	11,1	-18,1	- 29,7	11,6	-20,6	- 32,4	11,8
4,2	-18,3	- 28,5	10,2	-17,4	- 29,1	11,7	-20,4	- 28	7,6
4,4	-19,3	- 30,3	11	-19,3	- 30,6	11,3	-22,1	- 32	9,9
4,6	-18,5	- 28,9	10,4	-18,8	- 29,2	10,4	-22,7	- 32,3	9,6
4,8	-18	- 32	14	-18,7	- 32,4	13,7	-22,4	- 31,4	9
5	-18,6	- 27,8	9,2	-18	- 28,3	10,3	-22,8	- 29,5	6,7
5,2	-18,1	- 31,3	13,2	-18,3	- 31,6	13,3	-21	- 31,5	10,5
	Priemerný útlm: 11,08 dB			Priemerný útlm: 11,1 dB			Priemerný útlm: 9,52 dB		

Tabuľka B.7: Tabuľka nameraných hodnôt útlmu steny pre 2. časť frekvencií

vzdialenosť <i>d</i> [m]	frekvencia								
	2140 MHz			2437 MHz			2655 MHz		
	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]	prijímaná úroveň signálu bez prekážky [dBm]	prijímaná úroveň signálu s prekážkou [dBm]	útlm [dB]
2,6	-18,2	- 24,5	6,3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2,8	-18,6	- 25,8	7,2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	-19,6	- 30,3	10,7	-19,4	- 25,7	6,3	-----	-----	-----
3,2	-20,5	- 31,2	10,7	-19,3	- 29,1	9,8	-20,7	- 28,6	7,9
3,4	-20,7	- 29,1	8,4	-19,7	- 28,8	9,1	-21,4	- 27,6	6,2
3,6	-21,2	- 31,2	10	-20,7	- 28,9	8,2	-22,9	- 28,5	5,6
3,8	-21,3	- 30,6	9,3	-22,2	- 29,9	7,7	-23,4	- 30,6	7,2
4	-21,6	- 31,9	10,3	-21,3	- 31,3	10	-23,4	- 33,2	9,8
4,2	-21,9	- 36,9	15	-22	- 32,8	10,8	-24,8	- 33,3	8,5
4,4	-21,5	- 39,7	18,2	-24,4	- 31	6,6	-26,1	- 32,5	6,4
4,6	-23	- 36,9	13,9	-23,8	- 31,3	7,5	-24,7	- 30,5	5,8
4,8	-21,5	- 35,7	14,2	-22,4	- 33,6	11,2	-25,5	- 33,5	8
5	-21,6	- 30,1	8,5	-24,2	- 30,3	6,1	-24,6	- 31,9	7,3
5,2	-21,8	- 37,4	15,6	-23,6	- 34,5	10,9	-26,2	- 35	8,8
117,2	Priemerný útlm: 11,31 dB			Priemerný útlm: 8,68 dB			Priemerný útlm: 7,41 dB		

Název	TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10		
Kód	<b>A741031</b>		
Pásmo [MHz]	698-800	800-960	1700-2700
Výnos [dBi]	7.5	8.5	10
Vertikální vyzařovací úhel [°]	65	60	50
Horizontální vyzařovací úhel [°]	85	85	60
Přední/zadní poměr [dB]	>15	>20	>20
VSWR	<1.5		
Impedance [Ω]	50		
Polarizace	Vertikální		
Maximální příkon [W]	100		
Konektor	N-f		
Délka kabelu [cm]	55		
Rozměry [mm]	293x210x65		
Hmotnost [kg]	0.92		

Obrázok C.1:    Technické špecifikácie antény TRANS-DATA LTE KYZ 7.5/8/10 [43]